

BÖLN

Bundesprogramm Ökologischer Landbau
und andere Formen nachhaltiger
Landwirtschaft

Synchronisation der N-Mineralisierung aus Mulch mit der N-Aufnahme von Freilandgemüse durch optimiertes Management einer Leguminosengründung

Synchronization of N-mineralization from mulch with N-uptake of field-grown vegetables by optimized management of green manuring with legumes

FKZ: 03OE102

Projektnehmer:

Technische Universität München
Wissenschaftszentrum Weihenstephan
Department für Pflanzenwissenschaften
Emil-Ramann-Straße 2, 85350 Freising
Tel.: +49 8161 71-3390
Fax: +49 8161 71-4500
Internet: <http://www.wzw.tum.de>

Autoren:

Heuwinkel, Hauke; et al.

Gefördert vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger
Landwirtschaft (BÖLN)



Abschlussbericht

FKZ 03OE102

Im Bundesprogramm Ökologischer Landbau

Thema:

**Synchronisation der N-Mineralisierung aus Mulch mit der
N-Aufnahme von Freilandgemüse durch optimiertes
Management einer Leguminosengründung**

Laufzeit: 18.06.2004 bis 31.12.2007

Projektnehmer:

Technische Universität München
Wissenschaftszentrum Weihenstephan
Lehrstuhl für Pflanzenernährung
Dr. Hauke Heuwinkel

berichtsverantwortlich:

Hauke Heuwinkel

Projektpartner:

Frau M. Scheu-Helgert, Frau P. Engelmann, Herr W. Schubert, Frau B. Rascher, Gemüsebauversuchsbetrieb Bamberg, Bayerische Landesanstalt für Wein- und Gartenbau (LWG)

Herr S. Kimmelman, Versuchsstation für Ökologischen Landbau, TU München, Viehhausen, Kranzberg

Herr J. Pöhm, Biogut Wallenburg, Gemüsebaubetrieb, Miesbach

Prof. Dr. T. Ebertseder, Fachhochschule Weihenstephan, Fakultät Land- und Ernährungswirtschaft, Studiengang: Landwirtschaft

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Tabellen	IV
Verzeichnis der Abbildungen.....	V
Verzeichnis der Abkürzungen	IX
1 Ziele und Aufgabenstellung des Projektes.....	10
1.1 Planung und Ablauf des Vorhabens.....	10
1.2 Stand des Wissens zu Projektbeginn.....	11
2 Problemstellung.....	14
3 Material und Methoden.....	15
3.1 Standorte.....	16
3.2 Witterung.....	18
3.3 Kulturen, Pflanzabstand und N-Bedarf.....	20
3.4 Organische N-Dünger	21
3.5 Versuchsanlage und Düngevarianten	22
3.6 N-Düngung	26
3.7 Kulturbegleitende gartenbauliche Maßnahmen	28
3.8 Methoden	29
3.8.1 Bodenbeprobung und –untersuchung	29
3.8.2 ¹⁵ N-Markierung und Aufbereitung des Weißklee grünmulches	30
3.8.3 Pflanzenbeprobung und –untersuchung	31
3.8.4 Auswertung.....	32

3.8.4.1	N _{min} -Daten.....	32
3.8.4.2	N-Aufnahme	32
3.8.4.3	N-Ausnutzung.....	32
3.8.4.4	Statistik	33
4	Ergebnisse mit Diskussion.....	34
4.1	Die N-Wirkung von Weißklee grünmulch im Vergleich zu Maltaflor	34
4.2	Die Bedeutung der gedüngten N-Menge und deren Verteilung für das Wachstum von Porree und Sellerie	36
4.3	Ausnutzung des gedüngten Stickstoffs.....	41
4.4	Einfluss der organischen Düngung auf das N _{min} -Angebot im Boden.....	43
4.5	Fazit, Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse.....	52
5	Zusammenfassung.....	55
6	Literaturverzeichnis.....	57
7	Anhang.....	60

Verzeichnis der Tabellen

Tab. 3-1: Lage und Klima der Versuchsstandorte im Projekt; Klimadaten benachbarter Wetterstation des DWD (FS: Weihenstephan, BA: Bamberg; MB: Holzkirchen)	17
Tab. 3-2: Bodenkenndaten der Standorte im Projekt; Angaben bezogen auf trockenen Boden (B) bzw. Feinboden (FB).....	17
Tab. 3-3: Übersicht zu den Arten und Sorten der in den Versuchen angebauten Gemüsekulturen und der Verteilung der Pflanzen.....	21
Tab. 3-4: Im Projekt eingesetzte organische N-Dünger mit ausgewählten Kenngrößen.	22
Tab. 3-5: Liste der in den Versuchen geprüften N-Düngungsvarianten und ihre Codierung.....	25
Tab. 3-6: N-Düngung: Vergleich von N-Sollmenge mit tatsächlich applizierter N-Menge.	27
Tab. 3-7: Übersicht zu den Maßnahmen und deren Termine in den Feldversuchen....	28
Tab. 3-8: ^{15}N -Gehalt [at% ^{15}N] des Weißklee grünmulch mit Markierung zur Ausbringung. Für 2007 sind Minimal- und Maximalwerte über alle Versuche für den jeweiligen Düngetermin angegeben.	31

Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 3-1:	Lageplan des Systemversuches, wie er 2004 in Bamberg begann (weitere Erläuterungen s. Text).....	15
Abb. 3-2:	Witterung im Versuchszeitraum am Standort Viehhausen (LfL, 2007b) im Vergleich zum langjährigen Mittel an der Wetterstation des DWD in Weißenstephan.....	19
Abb. 3-3:	Witterung im Versuchszeitraum am Standort Bamberg im Vergleich zum langjährigen Mittel an der Wetterstation des DWD.	19
Abb. 3-4:	Versuchsanlage in Viehhausen 2007. Rechts sind der Mais und oberhalb davon die Rote Beete angebaut. Die unteren großen Parzellen gehören zum Versuch Viehhausen II mit Lauch. Die oberen Parzellen gehören zu Viehhausen I mit links den drei Wiederholungen im Porreeversuch und den Sellerieparzellen in der Mitte. Foto: Heuwinkel.....	23
Abb. 3-5:	Versuchsanlage kurz vor Ernte in Bamberg am 30.09.2007. Im Vordergrund die Sellerieparzellen in vier Wiederholungen, dahinter exakt der gleiche Aufbau mit Porree. Vorn links im Sellerie sind die Parzellengrenzen und Düngewarianten für zwei Wiederholungen eingezeichnet. Foto: W. Schuberth, LWG Bamberg.	24
Abb. 3-6:	Wiederholung drei in der Versuchsanlage mit Sellerie in Miesbach am Erntetag, 26.09.2007. Die Düngewarianten sind gekennzeichnet. Foto: Heuwinkel.....	24
Abb. 4-1:	Marktwarenenertrag (links) und N-Aufnahme von Porree und Sellerie im Jahr 2005 (obere Grafiken) und 2006 in Abhängigkeit von N-Dünger und N-Düngemenge am Standort Viehhausen. Dargestellt sind Mittelwert +/- Standardabweichung (n = 4).	35
Abb. 4-2:	N-Menge (oben) und deren Verteilung (unten) die mit der Grünmulchdüngung in den Versuchen dem Porree zugeführt wurde.....	37
Abb. 4-3:	Zusammenhang zwischen der N-Düngemenge (links) bzw. dem N-Gehalt im Spross von Porree zur Schlussernte (rechts) und der bis dahin gebildeten Sprosstrockenmasse. Dargestellt sind Mittelwert +/- Standardabweichung (je nach Versuch n= 3 bzw. 4).	38

- Abb. 4-4: N-Menge (oben) und deren Verteilung (unten) die mit der Grünmulchdüngung in allen Versuchen zu Sellerie zugeführt wurde. 39
- Abb. 4-5: Zusammenhang zwischen der N-Düngemenge (links) bzw. dem N-Gehalt im Spross von Sellerie zur Schlussernte (rechts) und der bis dahin gebildeten Sprosstrockenmasse. Dargestellt sind Mittelwert \pm Standardabweichung (je nach Versuch $n = 3$ bzw. 4). Beide Korrelationskoeffizienten sind signifikant (zweiseitig, $\alpha < 0,01$). 40
- Abb. 4-6: Zusammenhang zwischen dem N-Gehalt im Spross von Sellerie zur Schlussernte und dem Ertrag an marktfähiger Knollenfrischmasse. Dargestellt sind Mittelwert \pm Standardabweichung (FS: $n = 3$; MB und BA: $n = 4$). Die Korrelationskoeffizienten für FS und MB sind signifikant (zweiseitig, $\alpha < 0,05$), für BA dagegen nicht. 40
- Abb. 4-7: Ausnutzung des gedüngten organischen N durch Porree (oben) und Sellerie (unten). Dargestellt sind die scheinbare (aFUE) und die tatsächliche (FUE) Ausnutzung des Dünger-N. Daten sind Mittelwerte ($n = 3$ oder 4) der aFUE \pm Standardabweichung. Sie setzt den N-Mehrertrag im Vergleich zur Kontrolle ins Verhältnis zur Düngermenge. Die tatsächliche N-Ausnutzung ist nur für den Grünmulch berechenbar, da sich diese aus der ^{15}N -Anreicherung im Spross im Vergleich zum ^{15}N -markierten Mulch-N ergibt. In den Versuchen mit '*' ist der Wert aus Zwischenernten abgeleitet. 42
- Abb. 4-8: Ausnutzung des Grünmulch-N durch Porree (oben) und Sellerie (unten) im Jahr 2007. Dargestellt ist die tatsächliche Ausnutzung des Dünger-N aus den einzelnen Düngeterminen (Gaben) bis zum . Daten sind Mittelwerte ($n = 3$ oder 4) der FUE \pm Standardabweichung. Sie setzt den N-Mehrertrag im Vergleich zur Kontrolle ins Verhältnis zur Düngermenge. Die tatsächliche N-Ausnutzung ist nur für den Grünmulch berechenbar, da sich diese aus der ^{15}N -Anreicherung im Spross im Vergleich zum ^{15}N -markierten Mulch-N ergibt. In den Versuchen mit '*' ist der Wert aus Zwischenernten abgeleitet. 43
- Abb. 4-9: Angebot an N_{\min} in 0-15 und 15-30 cm Bodentiefe von jeder Düngevariante im Verlauf des Versuches Viehhausen-II mit Porree. Daten sind Mittelwerte ($n = 3$); signifikante Unterschiede zur Kontrolle innerhalb einer

Tiefe zum gleichen Termin sind mit * am Datensymbol gekennzeichnet (SNK-Test, $\alpha \leq 0,05$; Kreppold, 2009). Die blauen, fett ausgeführten Striche auf der Abszisse kennzeichnen die Düngetermine des Grünmulches sowie der zweiten Maltaflorgabe (26.07.) (s.a. Tab. 3-6 und Tab. 3-7). 45

- Abb. 4-10: N_{\min} -Gehalte in 0-15 und 15-30 cm Bodentiefe einer jeden Düngevariante im Versuch Viehhausen-I mit Porree (unten) und Sellerie (oben). Die Bodenproben wurden vor Ausbringung der Dünger, sowie direkt nach der Ernte gezogen (s.a. Tab. 3-6 und Tab. 3-7). Daten sind als arithmetische Mittelwerte ($n = 3$) mit jeweils einer Standardabweichung minus (weiß, Nitrat) bzw. plus (schwarz, Ammonium). 48
- Abb. 4-11: Nitratgehalte in 30-60 und 60-90 cm Bodentiefe einer jeden Düngevariante im Versuch Viehhausen-I mit Porree (unten) und Sellerie (oben). Die Bodenproben wurden vor Ausbringung der Dünger, sowie direkt nach der Ernte gezogen (s.a. Tab. 3-6 und Tab. 3-7). Dargestellt sind arithmetische Mittelwerte ($n = 3$) plus-minus einer Standardabweichung..... 49
- Abb. 4-12: N_{\min} -Gehalte in allen beprobten Bodentiefen einer jeden Düngevariante im Versuch in Bamberg mit Porree (unten) und Sellerie (oben). Die Bodenproben wurden vor Ausbringung der Dünger, sowie direkt nach der Ernte gezogen (s.a. Tab. 3-6 und Tab. 3-7). Dargestellt sind arithmetische Mittelwerte ($n = 3$) mit jeweils einer Standardabweichung minus (weiß, Nitrat) bzw. plus (schwarz, Ammonium). 50
- Abb. 4-13: N_{\min} -Gehalte in allen beprobten Bodentiefen einer jeden Düngevariante im Versuch in Miesbach mit Porree (unten) und Sellerie (oben). Die Bodenproben wurden vor Ausbringung der Dünger, sowie direkt nach der Ernte gezogen (s.a. Tab. 3-6 und Tab. 3-7). Dargestellt sind arithmetische Mittelwerte ($n = 3$) mit jeweils einer Standardabweichung minus (weiß, Nitrat) bzw. plus (schwarz, Ammonium). 51
- Abb. 9-1: Witterungsverlauf am Standort Viehhausen im Versuchsjahr 2005. Mittelwert der Lufttemperatur und Tagessumme des Niederschlages der LfL-Messstation in Viehhausen (LfL, 2007b). 60

VIII

Abb. 9-2:	Witterungsverlauf am Standort Viehhausen im Versuchsjahr 2006. Mittelwert der Lufttemperatur und Tagessumme des Niederschlages der LfL-Messstation in Viehhausen (LfL, 2007b).....	60
Abb. 9-3:	Witterungsverlauf am Standort Viehhausen im Versuchsjahr 2007. Mittelwert der Lufttemperatur und Tagessumme des Niederschlages der LfL-Messstation in Viehhausen (LfL, 2007b).....	61
Abb. 9-4:	Witterungsverlauf am Standort Bamberg im Versuchsjahr 2006. Mittelwert der Lufttemperatur und Tagessumme des Niederschlages (Deutscher Wetterdienst, Wetterstation in Bamberg).	62
Abb. 9-5:	Witterungsverlauf am Standort Bamberg im Versuchsjahr 2007. Mittelwert der Lufttemperatur und Tagessumme des Niederschlages (Deutscher Wetterdienst, Wetterstation in Bamberg).	62

Verzeichnis der Abkürzungen

a	Jahr
aFUE	tatsächliche Ausnutzung des Dünger-N (apparent fertilizer use efficiency)
BA	Bamberg
C	Kohlenstoff
DWD	Deutscher Wetterdienst
FS	Standort Viehhausen bei Freising
FUE	scheinbare Ausnutzung des Dünger-N (fertilizer use efficiency)
ha	Hektar
KNS	kulturbegleitende N_{\min} -Sollwerte
LfL	Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft Freising
LWG	Bayrische Landesanstalt für Wein- und Gartenbau Veitshöchheim
MB	Miesbach
m ²	Quadratmeter
N	Stickstoff
N ₂ O	Lachgas, Distickstoffmonoxid
NH ₃	Ammoniak
NH ₄ ⁺ , NH ₄	Ammonium
N _{min}	Mineralischer Boden-N (NH ₄ -N und NO ₃ -N)
NO ₃ ⁻ , NO ₃	Nitrat
TS	Trockensubstanz
TUM	Technische Universität München

1 ZIELE UND AUFGABENSTELLUNG DES PROJEKTES

Der Ökologische Gartenbau kauft aus vielschichtigen Gründen Stickstoff (N) in hohem Maße von außen zu. Im Unterschied zum Ökologischen Landbau ist der Produktionswert der Fläche ungleich höher anzusetzen, so dass Phasen des Anbaus von Gründüngungspflanzen betriebswirtschaftlich besonders schwer wiegen. Ökologische Gemüsebaubetriebe sind in Deutschland überwiegend viehlos und decken ihren N-Bedarf ganz wesentlich durch den Zukauf organischer Handelsdünger. Leguminosenhaltige Grünbrachen sind zwar Bestandteil der Fruchtfolge, aber anders als im viehlosen Ökologischen Landbau weniger mit dem Ziel die N-Versorgung zu sichern, als zur Beikrautkontrolle und zum Humusaufbau. Die nachrangige Bedeutung der Grünbrache im N-Management der Betriebe ist ganz wesentlich auch auf die zeitliche und räumliche Entkopplung der Mineralisierung des Grünmulches von der N-Aufnahme der Marktfrüchte zurückzuführen. Aufbauend auf Erkenntnissen zur Nutzung von Stickstoff aus Gründüngungen und organischen Handelsdüngern soll die Nutzung einer Leguminosengrünbrache als N-Dünger im Feldgemüsebau geprüft werden. Damit sollen die Vorteile einer Brache um eine verbesserte Verwertung des Stickstoffs aus der Brache ergänzt werden. Neben den ökologischen Vorteilen einer erhöhten N-Verwertungseffizienz könnte eine höhere Attraktivität der betriebsinternen N-Quelle auch positive ökonomische Auswirkungen haben.

Ziel des Projektes war es deshalb die N-Düngewirkung eines Leguminosengrünmulches, der aus einer Brachefläche direkt in wachsendes Feldgemüse eingebracht wird, im Vergleich zu einem verbreitet genutzten organischen Handelsdünger aufzuzeigen. Neben der netto an Ertrag und N-Aufnahme erkennbaren N-Wirkung, sollten durch eine detailliertere Betrachtung der N-Mineralisierung im Zeitverlauf weitere Aspekte der Optimierung des Managements pflanzlicher N-Dünger unter den Bedingungen des Ökologischen Gartenbaus erarbeitet werden. Nur so lassen sich pflanzenbauliche Strategien entwickeln, die zu einer Verbesserung der N-Verwertung innerhalb der Betriebe beitragen.

1.1 Planung und Ablauf des Vorhabens

Der ursprüngliche Antrag sah den Aufbau eines Systemversuches auf einer Fläche der Versuchsstation für Ökologischen Gartenbau der Bayr. Landesanstalt für Wein- und Gartenbau (LWG) in Bamberg vor. Dieser wurde geplant und zum Projektbeginn 2004

mit der Pflanzung der Hauptkulturen, Porree und Sellerie, auch gestartet. In der Simulation einer betrieblichen Fruchtfolge sollte so u.a. das Potential einer Grünmulchapplikation als organischer N-Dünger zu den beiden geprüften Hauptgemüsekulturen getestet werden. Leider zeigte sich im Laufe des ersten Jahres, dass aus verschiedenen Gründen der gewählte Versuchsansatz nicht zur Beantwortung der gestellten Fragen führen würde (s.a. Material und Methoden).

Infolgedessen wurde nach intensiver Diskussion ein neues Konzept entwickelt, das die zentralen Fragen im Projekt ebenfalls beantworten könnte. Es wurde ein klassischer Düngungsversuch (randomisierte Blockanlage) mit Kontrolle, Referenzdünger und dem Einsatz von Weißklee Grünmulch angelegt. Im Vordergrund standen damit die direkte Verfolgung des N aus dem Mulch und die Variation der Applikationsmenge. Das neue Konzept bedeutete automatisch eine inhaltlich engere Verzahnung mit dem Partnerprojekt ‚Stickstoffdynamik im ökologischen Gemüsebau‘ (FKZ: 03OE031) der LWG. Die Versuche in diesem Projekt wurden aus organisatorischen Gründen an die Versuchsstation für Ökologischen Landbau in Viehhausen verlegt.

Im weiteren Verlauf entwickelten sich durch die gemeinsame Diskussion der Zwischenergebnisse die Projektziele immer weiter. Mit Ende des Versuchsjahres 2005 drängte sich die Bedeutung des Bodens für die Verwertung des angebotenen N auf. Deshalb wurden 2006 innerhalb der Versuche des Partnerprojektes wieder eigene Messflächen in Bamberg eingerichtet. Im Abschlussjahr wurde daraus ein selbstständiger Versuch, zusätzlich ergänzt um einen weiteren Standort auf einem Praxisbetrieb bei Miesbach.

1.2 Stand des Wissens zu Projektbeginn

Die Verwertung des Stickstoffs aus einer Gründüngung ist wesentlich von der Abstimmung der N-Mineralisation aus der Gründüngung auf den N-Bedarf der Kulturen abhängig. Aufgrund des oft kurzfristig hohen N-Bedarfs der Gemüsepflanzen gelingt dies mit dem üblichen Konzept kaum indem die Mineralisierung des Mulches auf der Mulchfläche und damit zu wesentlichen Teilen im Jahr vorher erfolgt. Das regelmäßig geringe Wurzelsystem bei Gemüse schafft auch nicht Zugang zu tiefer in den Boden verlagertem Stickstoff. Deshalb zeigen Versuchsergebnisse mit über Winter abfrierenden Gründüngungspflanzen oftmals keine oder nur eine schwache Düngewirkung zu Gemüse (Laber 2002b). Wird dagegen der N aus einer Gründüngung während des Wachstums der Pflanzen, d.h. im Sommer, freigesetzt zeigt sich oftmals eine gute bis

sehr gute Düngewirkung (Scharpf & Schrage 1988, Lindner 2002), was allerdings Fink (2000) mit Erbsen nicht bestätigen konnte. Typischerweise setzt ein pflanzlicher Dünger den gut mineralisierbaren Anteil innerhalb der ersten 4-7 Wochen frei (Scharpf & Schrage 1988, Stadler et al. 2006). Der gut mineralisierbare Anteil ist aber stark vom Alter des Pflanzenmaterials bestimmt (Fox et al. 1990, Thönnissen 1996), was die, wie auch oben zitiert, z.T. widersprüchlichen Erfahrungen erklären könnte. Die Aufrechterhaltung eines stetigen Flusses an Stickstoff aus einer pflanzlichen Düngung erfordert damit ein regelmäßiges Nachliefern leicht umsetzbaren Materials.

Die unzureichende Düngewirkung einer klassisch ausgeführten Grünbrache mit Leguminosen, wie sie auch von der LWG in Bamberg beobachtet wird, hat vielschichtige Ursachen.

1. Der **N-Gewinn** ist deutlich **geringer** als vermutet, da die Schätzwerte sich bisher aus schnittgenutzten Beständen ableiten. Mulchen dagegen vermindert im Vergleich zur Schnittnutzung den N-Gewinn eines überjährigen Kleeegrases um 30% (Heuwinkel et al. 2005). Bei einem gut entwickelten Bestand können dies $100 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ sein.
2. Verantwortlich dafür ist das verstärkte Wachstum der Nicht-Leguminosen zuungunsten der Leguminosen, da die Verfügbarkeit von N_{\min} durch aus dem Mulch recycelnden N verbessert ist (Heuwinkel 2001, Kaiser 2002). Der im Gartenbau oft humose, umsatzaktive Boden führt ähnlich wie Mulchen schnell zur **Vergrasung von Gemengen** und beeinträchtigt die symbiontische Bindeleistung. Lindner (2002) folgert demzufolge, dass Klee gras als Gründüngung im intensiven ökologischen Gemüsebau nur 2-3 Monate angebaut werden sollte. Dem steht allerdings entgegen, dass ein regelmäßiger N-Entzug durch Abernten den Leguminosenanteil auch auf Standorten mit höherer N-Verfügbarkeit erhöht (Heuwinkel et al. 2002).
3. Die **N-Verluste** im Feld sind im Vergleich zu einer Schnittnutzung deutlich **erhöht**. Schon während der Brachennutzung tragen gasförmige Verluste zur Verringerung des N-Gewinns bei. So zeigen die Arbeiten von Larsson et al. (1998) bis zu 40% Verluste in Form von NH_3 und 1% als N_2O aus frischem, N-reichen Mulch auf. Die NH_3 -Verluste werden schon durch eine leichte Überdeckung mit Boden verhindert (Janzen & McGinn 1991). Das Auftreten von NH_3 -Verlusten ist an verschiedene Bedingungen geknüpft (Weber et al. 2001) und konnte, anders als die Lachgasverluste, in eigenen Untersuchungen nicht im gleichen Ausmaß bestätigt werden (We-

ber et al. 2001, Helmert et al. 2003, Reinsch 2004). In der Vegetationsruhe nach der Brache ist das Potential für Nitratverluste sehr hoch (Loges et al. 1999, Ruhe et al. 2003), begleitet von ebenfalls deutlich erhöhten Lachgasverlusten (Helmert et al. 2003).

4. Die **N-Freisetzung** erfolgt zum größten Teil **zeitversetzt zum Bedarf** der Nachfrucht. Das wiederholte Mulchen erhöht den N-Umsatz im Verlauf der Brachennutzung und danach (Helmert et al. unveröffentlicht), was zur schon beschriebenen Erhöhung des Nitratangebotes während und nach der Brache führt (Loges et al. 1999, Kaiser 2002, Helmert et al. 2003, Ruhe et al. 2003). Ebenso tritt ein Mineralisationsschub im zeitigen Frühjahr auf, wenn noch keine Gemüsekultur einen entsprechenden Bedarf hat. Darüber hinaus ist die Beobachtung, dass besonders bei geringen Temperaturen starke Primingeffekte von einer pflanzlichen Düngung ausgehen, die sich aber nicht in freigesetztem N_{min} , sondern im Aufbau mikrobieller Biomasse zeigt (Magid et al. 2001, Meyer et al. 2003). Wann und wie dieser N wieder mineralisiert wird ist bisher nicht geklärt.

Die höheren Temperaturen bei denen die Gemüse ihr Hauptwachstum haben, kombiniert mit einer durch die Beregnung idealen Versorgung der Bestände mit Wasser und die regelmäßige Pflege der Bestände durch Hacken ist förderlich für die N-Mineralisierung (Scharpf & Schrage 1988). Der Ökologische Gemüsebau kann dadurch eine hohe N-Verwertung aus Ernteresten erreichen (Scharpf & Schrage 1988, Laber 2002a). Durch den Anbau einer Gründüngung in Verbindung mit einer Kultur könnte also auch eine bessere Verwertung von N aus einer Gründüngung erreicht werden, wozu bisher aber kaum Daten vorliegen. Untersuchungen unter tropischen Bedingungen, die zu einem gewissen Grad mit den sommerlichen Bedingungen im Gartenbau in Mitteleuropa vergleichbar sind, zeigen, dass eine hohe Umsatzgeschwindigkeit bei einer Gründüngung möglich ist (Thönnissen et al. 2000 a,b). Da diese Bedingungen in den Tropen das ganze Jahr vorherrschen zwingt es dort die Anbauer Systeme zu verwenden, die die Gründüngung direkt zur wachsenden Pflanze platzieren. Auch in Mitteleuropa werden im Ökologischen Landbau Systeme des gemeinsamen Anbaus von Gründüngung und Kulturpflanze angewandt, die unter dem Begriff 'Weite Reihe' firmieren. Hier zeigen die Untersuchungen, dass der Erfolg dieses Systems stark von Standort und Management beeinflusst wird (Pommer 2003, Becker & Leithold 2003).

2 PROBLEMSTELLUNG

Hypothese:

Leguminosengrünmulch ist als N-Dünger im Ökologischen Gartenbau geeignet. Sein Einsatz im Betrieb erhöht die N-Verwertungseffizienz und Wirtschaftlichkeit der Fruchtfolge im Ökologischen Gemüseanbau.

Zu Bearbeitung dieser Hypothese wurden Feldversuche mit Weißklee grünmulch als Leguminosen-N-Dünger, dem organischen Handelsdünger Maltaflor® als Vergleichsdünger und den Zielkulturen Porree und Sellerie über drei Jahre auf mehreren Standorten durchgeführt:

Zentrale Versuchsfragen waren:

1. Erzielt eine Düngung mit Weißklee grünmulch dieselbe Wirkung wie das Vergleichsverfahren?
2. Gibt es einen Unterschied zwischen den betrachteten Kulturen in der Reaktion auf die Weißklee-N-Düngung?
3. Führt ein regelmäßiges Düngen der Kulturen mit dem Mulch während der Vegetation zu einer gleichmäßigeren N-Versorgung der Kulturen?
4. Ist über die Mulchmenge und/oder -verteilung eine bessere Anpassung der N-Mineralisation aus dem Mulch an den N-Bedarf der Kulturen möglich?
5. Kommt der Mulch-N direkt den Kulturen zugute, oder wird seine Wirkung über den Umsatz im Boden moduliert?
6. Wie wichtig sind Böden und ihre Nutzungsgeschichte für das Wirkpotential einer Düngung mit Grünmulch als Beispiel für einen pflanzlichen N-Dünger?

3 MATERIAL UND METHODEN

Der ursprüngliche Antrag sah den Aufbau eines Systemversuches auf einer Fläche der Versuchsstation für Ökologischen Gartenbau der Bayr. Landesanstalt für Wein- und Gartenbau (LWG) in Bamberg vor, der 2004 zur Pflanzung der Hauptkulturen, Porree und Sellerie, auch gestartet werden konnte (Abb. 3-1). Der Versuch simulierte in Einzelparzellen von 3,3 * 15 m die Fruchtfolge des Betriebes mit dem Ziel parallel alle Früchte jedes Versuchsjahr im Feld zu haben. Unter realistischen Bedingungen sollte so das Potential einer Grünmulchapplikation als organischer N-Dünger zu den beiden geprüften Hauptgemüsekulturen getestet werden. Durch vier Wiederholungen innerhalb eines RCB-Designs stand zu erwarten, dass Effekte erkennbar würden.

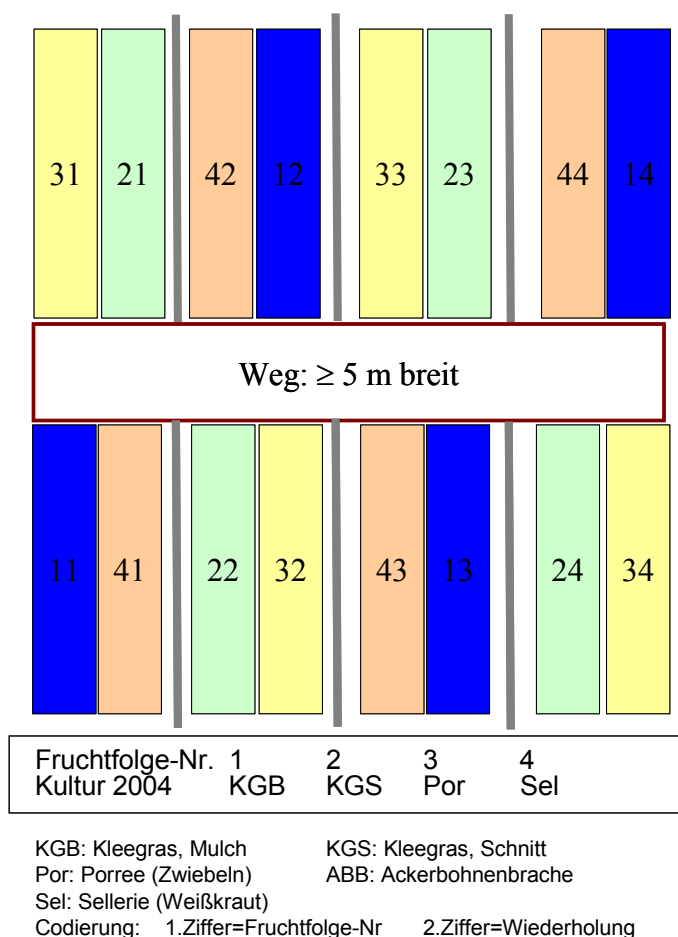


Abb. 3-1: Lageplan des Systemversuches, wie er 2004 in Bamberg begann (weitere Erläuterungen s. Text).

Es wurde 2004 dann zweimal (21.07. und 16.08.) das Klee gras genutzt, d.h. entweder als Grünbrache, oder als Düngung zu Porree und Sellerie eingesetzt. Parallel dazu wurde N_{min} in allen Parzellen beprobt. Ende Oktober wurde das Versuchsjahr mit der Ernte des Gemüses abgeschlossen. Schon mit der ersten Klee grasnutzung wurde an den erheblichen Ertragsunterschieden auf den Schnitt- bzw. Bracheparzellen des Klee grasses

(Variationskoeffizienten von 20-30%) deutlich, dass die gewählte Fläche sehr heterogen ist (s.a. Zwischenbericht 2004). Nachdem sich trotz aller Versuche dem entgegen zu wirken (flächig abernten, homogenisieren, rückverteilen) in der zweiten Nutzung die Varianz noch verstärkte und die zwischenzeitlich entnommenen Bodenproben eine kleinräumig sehr hohe Varianz der Bodeneigenschaften aufzeigten (ehemaliges Schwemmland der Regnitz), stand außer Frage, dass ein Beibehalten dieses Ansatzes nicht zielführend wäre. Zusätzlich hatten die Arbeiten bis zu diesem Zeitpunkt deutlich gemacht, dass auch arbeitstechnisch die Umsetzung mit weit höherem Aufwand als erwartet verbunden war, da die verfügbare Technik in Bamberg nicht ausreichend für die Betreuung des Versuches war. In einem intensiven Diskussionsprozess mit den Kollegen aus Bamberg und nach Rücksprache mit der BÖL (Frau Kotzia) wurde deshalb ein neues Konzept entworfen, das das Potential bot, die Grundfragen des Projektes weiterhin zu beantworten, aber die erfahrenen Schwierigkeiten in der Realisation vermied.

Es wurde am Standort Viehhausen eine homogenere Versuchsfläche gefunden, die auch versuchstechnisch günstiger lag. Dort wurde in Form eines Düngungsversuches den Fragen der Wirksamkeit, der N-Düngung mit Weißklee grünmulch zu Porree und Sellerie nachgegangen. Die Verknüpfung zum Partnerprojekt an der LWG wurde durch die Integration einer Düngungsvariante aus deren Versuch schon 2005 intensiviert. Aufgrund der gewonnenen Daten kam es 2006 dann zu einer direkten Beteiligung am Versuch in Bamberg und 2007 wurde dort und an einem weiteren Standort in Miesbach, Oberbayern, ein eigener Versuch angelegt. Das Vorgehen in diesen Versuchen ist im Folgenden detaillierter dargestellt.

3.1 Standorte

Die Versuche wurden auf bis zu drei Standorten durchgeführt. Dabei stellten die ökologischen Versuchsstationen der TU München (TUM) in Viehhausen bei Freising und die der Landesanstalt für Wein- und Gartenbau (LWG) in Bamberg die Basis für alle Versuche. Im letzten Jahr kam noch die Gärtnerei des Biogutes Wallenburg bei Miesbach dazu. Die Versuchsorte decken klimatisch große Unterschiede ab (Tab. 3-1), sind bodenkundlich verschieden (Tab. 3-2), was neben der Geologie auch auf die Bewirtschaftung zurückgeht. Die Versuchsstation der TUM in Viehhausen wird schon lange landwirtschaftlich genutzt, seit 1995 nach den Regeln des Ökologischen Landbaus quasi

viehlos (nur Legehennen), während die Versuchsstation in Bamberg im Jahr 2000 umgestellt wurde und auf gut 100 Jahre rein gartenbauliche Nutzung zurückschaut. Das Biogut Wallenburg betreibt in einer typischen landwirtschaftlichen Grünlandlage seit mehr als 25 Jahren Gartenbau nach den Richtlinien des Bioland-Verbandes.

Tab. 3-1: Lage und Klima der Versuchsstandorte im Projekt; Klimadaten benachbarter Wetterstation des DWD (FS: Weihenstephan, BA: Bamberg; MB: Holzkirchen) .

		Viehhausen (FS)	Bamberg (BA)	Miesbach (MB)
Koordinaten	N	48° 23' 57,44"	49° 52' 52,37"	47° 48' 13,05"
	E	11° 38' 48,79"	10° 54' 38,04"	11° 49' 50,58"
Höhe m NN		487	238	690
Niederschlag [mm]		788	634	1545
Temperatur [°C]		7,5	8,5	6,9

Tab. 3-2: Bodenkenndaten der Standorte im Projekt; Angaben bezogen auf trockenen Boden (B) bzw. Feinboden (FB).

	Viehhausen	Bamberg	Miesbach
Bodenart	schluffiger Lehm (Lu h3 x1)	mittel toniger Sand (St3 h3 x1)	mittel toniger Lehm (Lt3 h5 x2)
Skelettgehalt (> 2 mm) [g/100g B]	< 1	< 1	8,8
pH _{CaCl2}	5,8	7,1	6,7
P _{CAL} [mg/100 g FB]	10,3	10,5	5,2
K _{CAL} [mg/100 g FB]	15,1	14,9	21
Mg _{CaCl2} [mg/100 g FB]	10,5	15,0	n.b.
C _{org} [% FB]	1,47	1,74	4,9
N _{org} [% FB]	0,17	0,14	0,50
C/N	8,6	12,5	9,8

Die Nährstoffversorgung ist auf allen Standorten als gut bis sehr gut zu bezeichnen, wobei gartenbauliche Nutzung mit höheren Gehalten verbunden ist, gleiches gilt auch

im Prinzip für den Humusgehalt. Einzig der pH-Wert in Viehhausen (FS) ist im Bereich der unteren Grenze für den Feldgemüseanbau. Auffällig ist auf diesem Standort das vergleichsweise enge C/N-Verhältnis; bayernweit werden hierzu für schluffige Böden im Ökologischen Landbau Werte von 10-11 berichtet (Wendland et al., 2007).

3.2 Witterung

In Viehhausen starteten die Versuche in einem annähernd durchschnittlichen Jahr, sowohl in punkto Niederschlag, als auch Temperatur (Abb. 3-2). Die Verteilung des Niederschlages war auch während der Gemüsekulturen so ideal, dass eine Bewässerung nur zum Anwachsen nötig war (s. a. Abb. 7-1). Anschließend folgte im Jahr 2006 nach einem eher durchschnittlichen Frühjahr ein trocken-heißer Juli und auch im September war es viel zu trocken. Demzufolge wurde insbesondere im Juli 2006 intensiv bewässert. In 160 Tagen von Mitte Mai bis zur Ernte der Versuche fielen nur 315 mm Niederschlag, während in den beiden anderen Jahren in derselben Zeit 508 mm gemessen wurden, die außerdem noch gleichmäßig verteilt waren. Deshalb fiel für den Gemüseanbau der viel zu heiße und trockene April 2007 nicht ins Gewicht. Die Trockenheit im Oktober kam der Ernte zugute. Bewässert wurde ähnlich wie 2005 nur zweimal nach der Pflanzung. In Bamberg ist dagegen die Bewässerung auch in normalen Jahren ein Muss, 2006 stellte dahingehend besonders hohe Anforderungen (Abb. 3-3, s.a. Abb. 7-4 und Abb. 7-5).

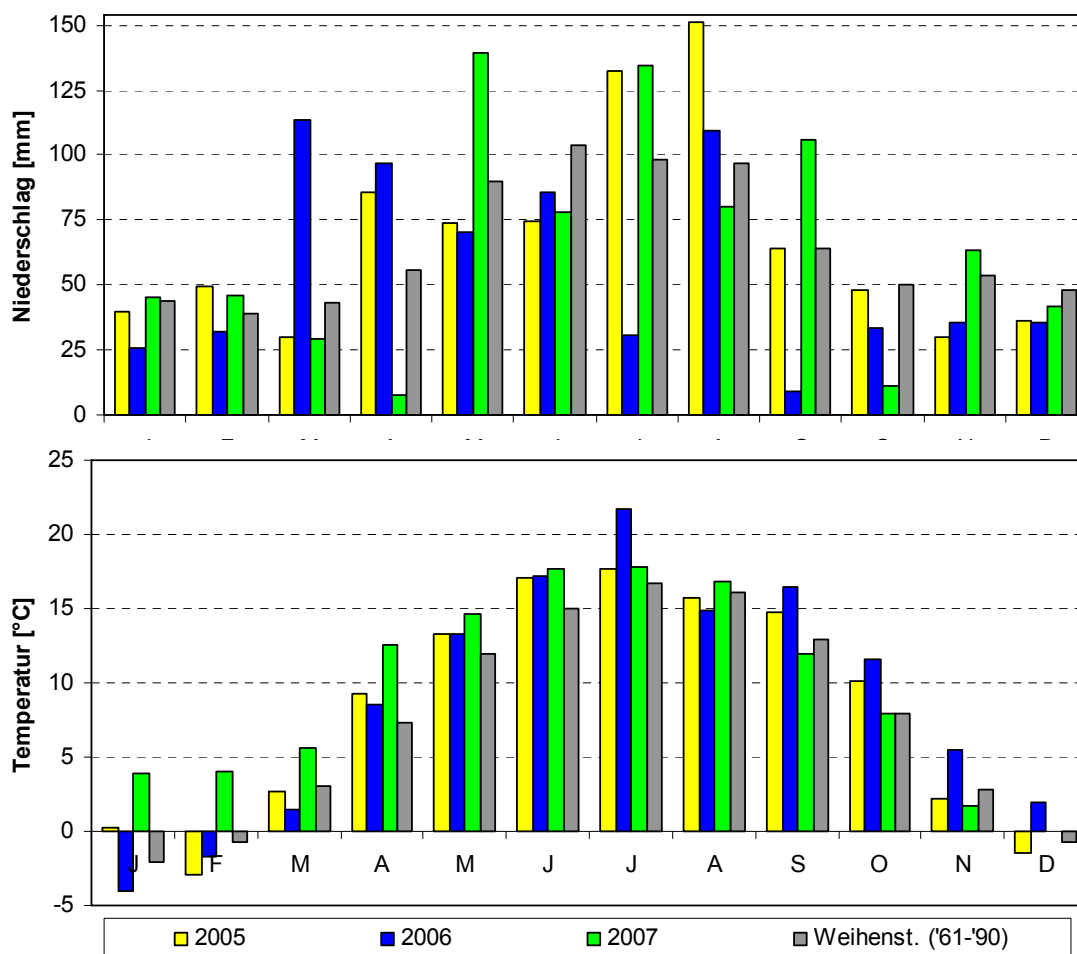


Abb. 3-2: Witterung im Versuchszeitraum am Standort Viehhausen (LfL, 2007) im Vergleich zum langjährigen Mittel der Wetterstation des DWD in Weihenstephan (DWD, 2008).

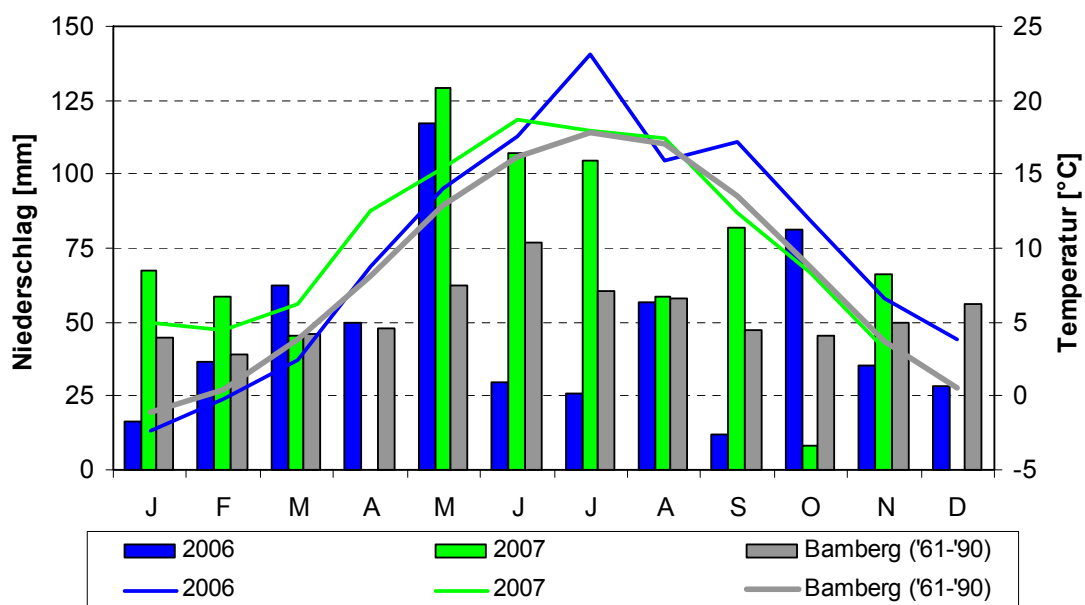


Abb. 3-3: Witterung im Versuchszeitraum am Standort Bamberg im Vergleich zum langjährigen Mittel der Wetterstation des DWD in Bamberg neben der Versuchsstation.

3.3 Kulturen, Pflanzabstand und N-Bedarf

Gemüse, zu denen Grünmulch als N-Dünger gegeben werden kann, müssen ausreichend lang wachsen und die Möglichkeit bieten regelmäßig in die Bestände Material einbringen zu können, ohne die Qualität und Gesundheit der Kulturen zu gefährden. Nicht zuletzt sollte ihr Anspruch an die N-Versorgung etwas höher sein, ihr Wachstum also i.d.R. mit Handelsdüngern unterstützt werden, und sie ein bedeutender Bestandteil in der Fruchtfolge vieler Betriebe darstellen, um eine Relevanz der Ergebnisse zu begründen. Diese Kriterien sind bei Porree und Sellerie gleichermaßen erfüllt, weshalb diese im Projekt in allen Jahren eingesetzt wurden. Im letzten Versuchsjahr erweiterte sich das Sortiment am Standort Viehhausen um Rote Beete und Zuckermais. Es zeigte sich allerdings, dass deren Anbau keine Alternative ist: Rote Beete wuchs zu schnell um die Mulchdüngung in der geplanten Abfolge einbringen zu können und Zuckermais stand einer ordentlichen Ausbringung regelrecht ‚im Weg‘. Beide Versuche wurden deshalb noch während des Wachstums abgebrochen. Eine Übersicht über die eingesetzten Pflanzen gibt Tab. 3-3. Porree und Sellerie wurden gepflanzt, um einen homogenen Ausgangsbestand und sichere Etablierung zu erzielen. Die Lauchpflanzen kamen zu wesentlichen Teilen aus der Anzucht der LWG, für MB 2007 aus dem Betrieb Wallenburg genauso wie der Sellerie, während die anderen Selleriepflanzen immer von einem Jungpflanzenanbieter bezogen wurden. Als Reihenabstand wurde bevorzugt mit 50 cm gearbeitet, um das Ausbringen des Mulches zu erleichtern. Die Pflanzdichte bewegte sich im Rahmen dessen was im Ökologischen Feldgemüsebau üblich ist und wurde so wenig wie möglich variiert.

Der N-Bedarf der Kulturen wurde im ersten Jahr (2005) mit 18 g N/m^2 zu Sellerie und 20 g zu Porree festgelegt. Ein Fehler im Kalkulationsschema ordnete dem Lauch dann 2005 tatsächlich nur ein N-Bedarf von 15 g zu. In den Folgejahren wurde in Anlehnung an das KNS-System (Lorenz et al., 1986) auf allen Standorten ein N-Bedarf von 22 g zu Porree und 20 g zu Sellerie angenommen. Unter Berücksichtigung des N_{\min} im Boden (0-60 cm außer MB: 0-30 cm) zur Pflanzung errechnete sich der versuchsspezifische N-Sollwert. Die so errechnete Menge an N wurde prinzipiell über die praxisübliche Variante mit einer Maltaflor-Düngung (Ma) ausgebracht (Tab. 3-6).

Tab. 3-3: Übersicht zu den Arten und Sorten der in den Versuchen angebauten Gemüsekulturen und der Verteilung der Pflanzen.

Jahr	Standort	Art	Sorte	Reihenabstand [cm]	Pflanzdichte [m ⁻²]
2005	Viehhausen	Porree	Shelton	50	13⅓
		Sellerie	Kojak	50	6⅔
2006	Viehhausen	Porree	Shelton	50	13⅓
		Sellerie	Ibis	50	8
	Bamberg	Porree	Shelton	20	10,13
2007	Viehhausen- I	Porree	Ardea	50	16
		Sellerie	Prinz	50	8
	Bamberg	Porree	Ardea	50	16
		Sellerie	Prinz	50	8
	Miesbach	Porree	Ardea	50	16
		Sellerie	Prinz	50	8
	Viehhausen- II	Porree	Wintergrüner	50	16

3.4 Organische N-Dünger

Zur Anwendung kam in allen Parzellenversuchen ein Grünmulch aus Weißklee („Milkanova“), sowie Maltaflor[®] als organischer Referenzdünger (Tab. 3-4). Im Jahr 2007 wurde in Miesbach noch mit Horn als zweitem organischem Referenzdünger gearbeitet und im Versuch Viehhausen II Calciumnitrat als rein mineralische Vergleichsvariante eingesetzt.

Tab. 3-4: Im Projekt eingesetzte organische N-Dünger mit ausgewählten Kenngrößen.

Jahr	Standort	Weißklee grünmulch			Maltaflor®	
		% TS	N _t [% TM]	C/N	N _t [% TM]	C/N
2005	Viehhausen	12,9-14,6	3,8-4,7	7,5-11,0	3,8	10,0
2006	Viehhausen	12,0-20,0	3,8-4,7		4,2	9,0
	Bamberg	12,0-20,0	3,8-4,7			
2007	Viehhausen-I	11,1-15,3	4,3-4,9			
	Bamberg	10,8-12,5	4,0-4,8			
	Miesbach	11,6-15,0	3,7-5,3			
	Viehhausen-II	11,9-14,3	3,7-5,2			

dazu noch Horn, je 1/3 Späne, Gieß, Mehl (MB 2007): 14,1 % N; C/N: 3,1

3.5 Versuchsanlage und Düngevarianten

Aufgrund der negativen Erfahrungen mit dem Systemversuch wie er ursprünglich beantragt und 2004 in Bamberg auch begonnen worden war (s. Erläuterungen zu Beginn von Material und Methoden), wurde ab 2005 ein anderes Versuchskonzept zur Beantwortung der gestellten Fragen gewählt. Dies folgt letztlich dem Konzept klassischer Parzellenversuche, die wenige Versuchsfaktoren gezielt auf ihre Bedeutung hin prüfen.



Abb. 3-4: Versuchsanlage in Viehhausen 2007. Rechts sind der Mais und oberhalb davon die Rote Beete angebaut. Die unteren großen Parzellen gehören zum Versuch Viehhausen II mit Lauch. Die oberen Parzellen gehören zu Viehhausen I mit links den drei Wiederholungen im Porreeversuch und den Sellerieparzellen in der Mitte. Foto: Heuwinkel

In jedem Jahr und an jedem Standort wurden die Versuche als einfaktorielle Blockanlagen separat für jede Kultur mit denselben Düngevarianten ausgeführt (Bsp. s. Abb. 3-5), um die Flächengröße und damit die potentielle Varianz innerhalb der Versuchsfläche zu minimieren. Mit demselben Ziel wurde die Parzellengröße an Kultur und Fragestellung angepasst. Die Düngevarianten wechselten zwischen den Jahren und Standorten (Tab. 3-5). Grundsätzlich bestanden sie aber aus einer ungedüngten Kontrolle und einer praxisüblichen Düngung mit Maltaflor[®], sowie verschiedenen Varianten der Düngung mit Weißklee grünmulch. Die Mulchdüngung wurde in den Versuchen auf drei Termine meist gleich verteilt: erste Düngung nach dem Etablieren der Jungpflanzen (2-3 Wochen), zweite Düngung vier Wochen nach der ersten (meist Ende Juli) und die dritte Düngung weitere 4-5 Wochen später (Anfang September). Mit diesem Konzept sollten potentiell negative Wechselwirkungen der Mulchmineralisierung mit dem Anwachsen der Jungpflanzen vermieden und in den Hauptwachstumsphasen ein hohes Angebot an mineralischen N erzielt werden. Hierbei wurde davon ausgegangen, dass die Mineralisierung von N aus organischen N-Düngern primär in den ersten 4-6 Wochen erfolgt (z.B. Stadler et al. 2006), das regelmäßiges Nachdüngen also den Nährstofffluss verstärken würde. Aus demselben Grund erfolgte die als praxisüblich definierte Düngung mit Maltaflor in zwei Gaben: zur Pflanzung und zum Termin der zweiten Mulchdüngung. Außer in den viehhäuser Versuchen von 2007 (dreifach) wurde jede Variante vierfach wiederholt.



Abb. 3-5: Versuchsanlage kurz vor Ernte in Bamberg am 30.09.2007. Im Vordergrund die Sellerieparzellen in vier Wiederholungen, dahinter exakt der gleiche Aufbau mit Porree. Vorn links im Sellerie sind die Parzellengrenzen und Düngewarianten für zwei Wiederholungen eingezeichnet. Foto: W. Schuberth, LWG Bamberg.

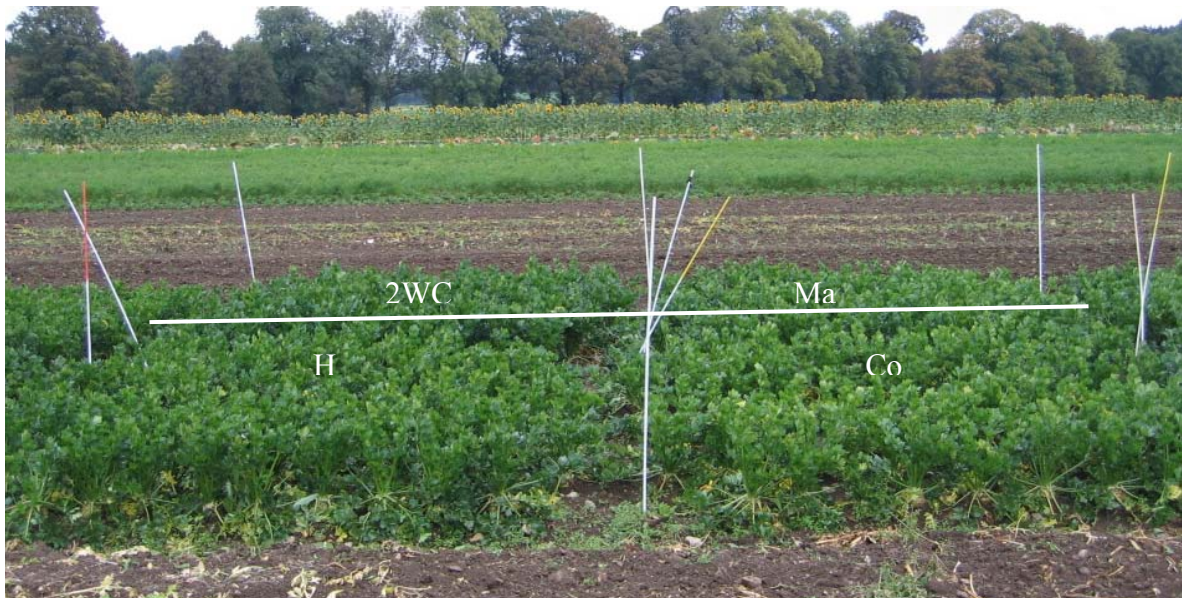


Abb. 3-6: Wiederholung drei in der Versuchsanlage mit Sellerie in Miesbach am Erntetag, 26.09.2007. Die Düngewarianten sind gekennzeichnet. Foto: Heuwinkel.

Tab. 3-5: Liste der in den Versuchen geprüften N-Düngungsvarianten und ihre Codierung.

Jahr	Standort	Variante	Code	Dünger, Düngenniveau, etc.
2005	Viehhausen	Kontrolle	Co	keine N-Düngung
		Maltaflor®	Ma	Maltaflor® nach spezifischem N-Soll-Wert
		1*Weißklee	1WC	Weißklee grünmulch, gleiche Menge wie in Ma
		2,5*Weißklee	2,5WC	Weißklee grünmulch, zweieinhalbfache Menge wie in Ma
		Maltaflor_3	Ma_3	Maltaflor® nach N-Soll-Wert, drei Gaben zu den WC-Düngeterminen
2006	Viehhausen	Kontrolle	Co	Erläuterung s. 2005
		Maltaflor®	Ma	Erläuterung s. 2005
		1*Weißklee	1WC	Erläuterung s. 2005
		2*Weißklee	2WC	Weißklee grünmulch, doppelte Menge wie in Ma
		2*Weißklee	3WC	Weißklee grünmulch, dreifache Menge wie in Ma
	Bamberg	Kontrolle	Co	Erläuterung s. 2005
		Maltaflor®	Ma	Erläuterung s. 2005
		2*Weißklee	2WC	Erläuterung s. 2006 Viehhausen
	Viehhausen- I	Kontrolle	Co	Erläuterung s. 2005
		Maltaflor®	Ma	Erläuterung s. 2005
		2*Weißklee	2WC	Erläuterung s. 2006 Viehhausen
		2*Weißklee	2WC_m	Ungleiche Verteilung der N-Menge <u>mitten</u> betont: 17% + 50% +33%
		2*Weißklee	2WC_e	Ungleiche Verteilung der N-Menge <u>end</u> betont: 17% + 33% +50%
2007	Bamberg	Kontrolle	Co	Erläuterung s. 2005
		Maltaflor®	Ma	Erläuterung s. 2005
		2*Weißklee	2WC	Erläuterung s. 2006 Viehhausen
	Miesbach	Kontrolle	Co	Erläuterung s. 2005
		Maltaflor®	Ma	Erläuterung s. 2005
		2*Weißklee	2WC	Erläuterung s. 2006 Viehhausen
		Horn	Ho	Horn (je 1/3 Späne, Gieß, Mehl), gleiche Menge wie in Ma <u>zur Pflanzung</u>
	Viehhausen-II	Kontrolle	Co	Erläuterung s. 2005
		Maltaflor®	Ma	Erläuterung s. 2005
		2*Weißklee	2WC	Erläuterung s. 2006 Viehhausen
		Mineral-N	Ni	Calciumnitratlösung in drei Gaben (s. WC) gleiche Menge wie in Ma

3.6 N-Düngung

Die N-Düngemengen in jeder Variante hingen vom N_{\min} -Rest im Boden in 0-60 cm zur Pflanzung, dem angenommenen N-Bedarf der Pflanzen und den Erfahrungen mit den Düngern aus den Vorjahren ab. Grundsätzlich wurde der Grünmulch in drei Gaben ausgebracht, um dem Wachstum des Weißklee und der Gemüse gerecht zu werden. Aufgrund der schlecht prognostizierbaren TS- und N-Gehalte im frischen Weißkleemulch kam es in dieser Variante zu größeren Abweichungen von der N-Zielmenge zum jeweiligen Düngetermin. Abweichungen wurden bei der Bemessung der darauffolgenden Düngung berücksichtigt, wodurch die Abweichungen in der gesamten N-Menge moderat blieben (Tab. 3-6). Die käuflichen organischen und mineralischen N-Dünger wurden entsprechend dem Sollwert appliziert. Eine Teilung dieser Dünger erfolgte je nach Fragestellung. Das Referenzverfahren mit Maltaflor wurde grundsätzlich zweigeteilt (je zur Hälfte zur Pflanzung und 6 Wochen später), während der Horndünger, entsprechend der Vorgabe des Betriebes, in einer Gabe zur Pflanzung gegeben wurde.

Tab. 3-6: N-Düngung: Vergleich von N-Sollmenge mit tatsächlich applizierter N-Menge.

Jahr	Standort	Kultur	Variante	N-Soll [g N * m ⁻²]	Real [g N * m ⁻²]	Abweichung vom Soll [%]
2005	Viehhausen	Porree	1WC	9,0	10,0	+11
			2,5WC	22,5	25,1	+12
			Ma	9,0	9,0	0
			Ma 3	9,0	9,0	0
		Sellerie	1WC	12,0	13,4	+12
			2,5WC	30,0	33,7	+12
			Ma	12,0	12,0	0
			Ma 3	12,0	12,0	0
2006	Viehhausen	Porree	1WC	13,0	13,6	+5
			2WC	26,0	27,2	+5
			3WC	39,0	40,9	+5
			Ma	13,0	13,0	0
		Sellerie	1WC	13,0	13,6	+5
			2WC	26,0	27,2	+5
			3WC	39,0	40,9	+5
			Ma	13,0	13,0	0
	Bamberg	Porree	2WC	36,8	38,6	+5
			Ma	18,4	18,4	0
2007	Viehhausen- I	Porree	Ma	18,7	18,7	0
			2WC	37,4	38,3	+2
		Sellerie	Ma	15,4	15,4	0
			2WC	30,8	32,0	+4
	Bamberg	Porree	Ma	17,6	17,6	0
			2WC	35,2	35,3	0
		Sellerie	Ma	17,6	17,6	0
			2WC	35,2	34,9	-1
	Miesbach	Porree	Ma	18,7	18,7	0
			2WC	37,4	38,1	+2
			Ho	18,7	17,1	-8
		Sellerie	Ma	17,4	17,4	0
			2WC	34,8	38,6	+11
			Ho	17,4	16,1	-7
	Viehhausen-II	Porree	Ma	16,0	17,7	+11
			2WC	32,0	35,0	+9
			Ni	16,0	16,0	0

3.7 Kulturbegleitende gartenbauliche Maßnahmen

Das Vorgehen in Versuchsanlage und Betreuung war in allen Versuchen gleich. Witterung und Arbeitsaufwand führten dazu, dass Pflege- und Düngungsmaßnahmen nicht immer zum idealen Zeitpunkt erfolgen konnten. Die kulturbegleitenden Düngetermine sind Tab. 3-7 zu entnehmen. Die Unkrautbekämpfung erfolgte in allen Versuchen nach Bedarf durch Ausreißen per Hand. Flächig wurde zusätzlich die Handhacke eingesetzt, deren Einfluss auf die Mineralisation damit potentiell in allen Parzellen eines Versuches gleich war. Diese Maßnahme diente gleichzeitig der oberflächlichen Einarbeitung des Mulchmaterials, da dafür bewusst kein zusätzlicher Arbeitsgang entstehen sollte, um den potentiellen Zusatzaufwand für einen Betrieb zu minimieren. In BA wurde zwischen den Reihen regelmäßig die Fräse zur Auflockerung der Bodenoberfläche und zur Unkrautbekämpfung eingesetzt.

Tab. 3-7: Übersicht zu den Maßnahmen und deren Termine in den Feldversuchen.

Jahr	Ort	Kultur	Pflanzung 1. Ma-Gabe	Starternte/ 1. WC-Gabe	2. WC-Gabe 2. Ma-Gabe	3. WC-Gabe	Endernte
2005	FS	Porree	09.06.	30.06.	02.08.	08.09.	02.11.
		Sellerie	09.06.	30.06.	02.08.	08.09.	12.10.
2006	FS	Porree	08.06.	28.06.	31.07.	08.09.	17.10.
		Sellerie	08.06.	28.06.	31.07.	08.09.	16.10.
	BA	Porree	15.06.	28.06.	31.07.	08.09.	04.10.
2007	FS- I	Porree	12.06.	20.06.	17.07.	28.08.	11.10.
		Sellerie	12.06.	19.06.	17.07.	28.08.	11.10.
	BA	Porree	06.06.	20.06.	19.07.	29.08.	09.10.
		Sellerie	06.06.	20.06.	19.07.	29.08.	01.10.
	MB	Porree	08.06.	19.06.	16.07.	28.08.	02.10.
		Sellerie	14.05.	24.05.	08.07.	14.08.	26.09.
	FS- II	Porree	12.06.	28.06.	26.07.	06.09.	25.10.

Im Jahre 2006 tauchte die Lauchmotte erstmalig in den Beständen in FS auf, während sie 2007 vermutlich über das Pflanzgut eingeschleppt wurde. In beiden Jahren konnte durch ein zielgerichtetes, regelmäßiges Behandeln mit *Bacillus thurengensis* ein Schaden verhindert werden.

In den Porreeversuchen FS-II und MB, aber auch FS-I kam es 2007 zu tlw. relevanten Ausfällen durch Fäule. Bei der Ernte wurde das entsprechend bonitiert und notiert. Für

die Auswertung war dies letztlich ohne Belang wie in Kapitel 4.1f ausgeführt wird. Der Sellerie war in allen Versuchen gesund. Einzig in der Qualität kam es witterungsbedingt zeitweise zu erwähnenswerten Einflüssen auf den Anteil gerissener Knollen. Nachdem dies besonders für die Lagerung, weniger aber die direkte Verwertung nachteilig und schon gar nicht für die N-Aufnahme von Relevanz ist, wurden diese Daten nicht weiter in der Auswertung berücksichtigt.

3.8 Methoden

3.8.1 Bodenbeprobung und –untersuchung

Bodenproben dienten zur Beschreibung des Versorgungszustandes der Versuchsflächen zur Versuchsanlage (Tab. 3-2), zur Ermittlung des N-Sollwertes und zur Dokumentation von Veränderungen im N_{\min} im Versuchsverlauf. Demzufolge erfolgte eine Beprobung vor jeder Düngung (Tab. 3-7) in jeder Parzelle, sowie nach der Endernte. In Versuch FS-II beschrieb ein 14-tägiger Beprobungsrhythmus die Dynamik der N-Mineralisierung aus der organischen Düngung detaillierter. In diesem Versuch stand der Prozess des Verlaufes der N-Mineralisierung überhaupt im Fokus der Untersuchungen, wozu u.a. mit In-Situ-Inkubationen gearbeitet wurde. Details hierzu würden den Rahmen dieser Darstellung sprengen und können bei Kreppold (2009) nachgelesen werden. Die Beprobung erfolgte standardmäßig mit dem Pürkhauer Bohrstock bis in 60 cm Tiefe, aufgeteilt in die Schichten 0-15, 15-30, 30-60 cm. Für die oberen beiden Tiefen wurden sechs Einstiche pro Parzelle vereint, darunter vier. Zur Pflanzung und nach der Endernte kam noch die Tiefe 60-90 cm dazu (außer MB). Die Einstiche je Probe und Tiefe wurden vereint abgetütet und etikettiert, mit Kühlelementen sofort runtergekühlt und später in der Versuchsstation der Pflanzenernährung in Dürnast bei Freising homogenisiert und anschließend eingefroren (-18°C). Das Auftauen zur Analyse erfolgte über Nacht in einem Kühlschrank bei 4°C . Aus den angetauten Proben wurde je 80 g Feinboden zur Bestimmung des Wassergehaltes in Aluschalen (105°C) und in je zwei Parallelen einmal zur Bestimmung des Nitratgehaltes (0.01 M CaCl_2 , Verhältnis 1:2 Boden:Lösung) und dann noch zur Bestimmung des Ammoniumgehaltes (nur 0-15 und 15-30 cm Tiefe; 2 M KCl , Verhältnis 1:2 Boden:Lösung) in 500 ml PE-Flaschen abgefüllt. Nach Schütteln und Filtrieren wurden die Extrakte bis zur Analyse tiefgefroren (weitere Details in Stadler et al. 2006). Nitrat wurde photometrisch nach Trennung mit HPLC (Uvikon® 720 LC micro, Kontron Instruments, Au i.d. Hallertau, D) bestimmt (Vilsmeier, 1984), während Ammonium als Salicylatkomplex (Mulvaney, 1996) photomet-

risch bei 667 nm erfasst wurde (Fa. Perkin Elmer, UV/VIS Spectrometer Lambda 20, Neuried, D).

3.8.2 ¹⁵N-Markierung und Aufbereitung des Weißklee grünmulches

Zentrales Ziel dieses Projektes ist die Eignung eines Leguminosengrünmulches als organischem N-Dünger im Feldgemüsebau am Beispiel des Weißklee aufzuzeigen. Neben der Betrachtung der Nettowirkung auf N-Aufnahme und Ertrag, ist dabei gerade unter den Bedingungen des Ökologischen Anbaus die Frage der Brutto-N-Flüsse von Bedeutung. Deshalb wurde der Weißklee auf einer konventionellen Fläche der Versuchsstation für Pflanzenernährung in Dürnast bei Freising angebaut, um ihn regelmäßig mit geringen Mengen an ¹⁵N-markierten Mineraldünger behandeln zu können (Heuwinkel et al., 2005). Damit wurde im Weißklee-N eine Anreicherung an ¹⁵N erreicht, die eine sichere Differenzierung des Weißklee-N von Boden-N ermöglichte (Tab. 3-8). Somit ließen sich die N-Quellen aus denen das Gemüse sich versorgte voneinander trennen und damit eine verbesserte Bewertung der Rolle eines solchen Düngers erzielen. Leider war dieses Verfahren für das Maltaflor nicht anwendbar, weshalb zu dieser Variante eine Betrachtung der Netto-N-Flüsse die einzige Möglichkeit darstellt. Um den möglichen Einfluss der N-Mineralisierung und damit auch des Kohlenstoffs im organischen Dünger bewerten zu können, wurde im Versuch FS-II zusätzlich eine Variante mit mineralischem N (CaNO₃-Lösung, Ausbringung mit Rückenspritze) eingeführt, der ebenfalls mit ¹⁵N markiert war und parallel zum Mulch in drei Gaben ausgebracht wurde. Es wurde immer nur eine zu Versuchsbeginn festgelegte Teilfläche mit ¹⁵N-markierten Dünger belegt, die Restfläche dagegen mit derselben N-Menge ohne Markierung. Dadurch war es möglich je nach Fragestellung, entweder die Bedeutung der aktuellen Düngung für die N-Aufnahme bis zur nächsten Düngung oder für die gesamte N-Aufnahme zu bestimmen. Diese Bruttowerte konnten dann mit den Netto beobachteten Effekten verglichen werden.

Tab. 3-8: ^{15}N -Gehalt [at% ^{15}N] des Weißklee grünmulch mit Markierung zur Ausbringung. Für 2007 sind Minimal- und Maximalwerte über alle Versuche für den jeweiligen Düngetermin angegeben.

Düngetermin 2005			Düngetermin 2006			Düngetermin 2007		
1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
0,4994	0,7228	0,8300	0,6217	0,6417	0,4739	0,4156-0,5155	0,6149-1,5575	0,5265-0,6773

Der Weißklee wurde spätestens zur Blüte mit einem Parzellenversuchsernter geerntet (Höhe ca. 15 cm), um ein relativ junges Material zu gewinnen. Dies wurde dann mit einem Laborhächsler gleichmäßig auf 2-3 cm Länge geschnitten und ermöglichte damit in diesem Versuch die gleichmäßige Verteilung im Feld (per Hand). Zudem erleichtert diese Aufbreitung auch den benötigten Zugang der Bodenbiologie zum Material und sollte deshalb auch eine Vorgabe für eine spätere Mechanisierung sein. Entsprechend eines geschätzten TS- und N-Gehaltes des Weißklee und der jeweils angestrebten N-Düngemenge wurde für jede Parzelle die zu verteilende Frischmasse abgewogen. Drei Teilproben zur Ermittlung des tatsächlichen TS-, N- und ^{15}N -Gehaltes wurden je Versuch zurückgestellt.

Die Drittelung der Weißklee düngung erfolgte aus vier Gründen:

1. Die Masse, die pro Düngung aufzubringen war, sollte nicht die Möglichkeit zur Ausbildung einer ‚Matte‘ bieten, die oben trocken fällt und unten fault.
2. Eine Einarbeitung durch einen im Rahmen der Unkrautbekämpfung üblichen Arbeitsgang sollte noch möglich sein.
3. Den notwendigen Pflegerhythmus der Brache widerspiegeln.
4. Nicht zuletzt sollte eine stetigere Versorgung mit N_{\min} durch das häufigere Nachdüngen erreicht werden (vergl. a. Stadler et al., 2006).

3.8.3 Pflanzenbeprobung und –untersuchung

Mit der Etablierung der Setzlinge wurde der eigentlich Beginn der Versuche gesetzt. Dazu wurde eine Beprobung aller Parzellen durchgeführt, bei der es sich in allen Jahren zeigte, dass die Düngung mit Maltaflor und auch Horn zur Pflanzung bis dahin keinen Effekt auf das Wachstum und die N-Aufnahme der Kulturen zeigte. Je nach Fragestellung im Versuch wurden regelmäßig Zwischenernten zu jeder weiteren Düngung vorgenommen oder es kam nur zu einer abschließenden Beprobung in der Endernte.

Die geernteten Pflanzen wurden von Wurzelresten befreit, bonitiert, beim Sellerie in Knolle und Blätter geteilt und nach Bedarf gewaschen. Nach dem Abtropfen des Waschwassers wurde der Frischmasseertrag der Fraktionen ermittelt, diese kleingeschnitten bzw. gehäckselt und drei Unterproben a ca. 750 g Frischmasse zur TS-Bestimmung (105°C bis zur Gewichtskonstanz) eingewogen. Nach Rückwaage wurden die Proben vereint und schrittweise gemahlen und geteilt bis eine feinstvermahlene (Retsch 100, Wuppertal, D) Teilprobe zur Untersuchung von N- und ¹⁵N-Gehalt (Heuwinkel et al., 2005) vorlag.

3.8.4 Auswertung

3.8.4.1 N_{min}-Daten

Aus den Analysedaten wurden für jede Probenahmentiefe die Konzentration an NH₄- bzw. NO₃-N in mg N pro kg trockener Feinboden berechnet. Unter der Annahme einer Lagerungsdichte von 1,3 und der Berücksichtigung des Steingehaltes (nur in MB relevant: 0-30 cm 8,8 %, für 30-60 cm 40% (Schätzwert)) errechneten sich die im Bericht dargestellten Mengen in g N * m⁻² in der jeweils angegebenen Tiefe.

3.8.4.2 N-Aufnahme

Die Stickstoffaufnahme ist das Produkt aus dem Trockenmasseertrag und dem N-Gehalt des betrachteten Pflanzenteils. Für den Sprossertrag wurden alle oberirdischen Pflanzenteile addiert.

3.8.4.3 N-Ausnutzung

Es wurden zwei verschiedene Werte für die Ausnutzung des Dünger-N berechnet. In beiden Fällen wird die berechnete N-Aufnahme in die Pflanze ins Verhältnis zur jeweils relevanten N-Düngung gesetzt.

1. Die scheinbare N-Ausnutzung (aFUE) ist eine Bilanzgröße, die aus dem Vergleich mit der ungedüngten Kontrolle für den Zuwachs im betrachteten Zeitfenster entsteht. Sie kann negativ sein, wenn die gedüngte Parzelle schwächer als die Kontrolle wächst.
2. Die tatsächliche N-Ausnutzung (FUE) errechnet aus dem Vergleich der N-Isotopie eines ¹⁵N-markierten Düngers und der Isotopie in der Pflanze, die mit diesem Dünger wuchs, im Vergleich zur Isotopie einer Pflanze die ohne ¹⁵Nmarkierten Dünger wuchs, den Anteil an Dünger-N an der N-Aufnahme.

Dieser Wert kann praktisch gegen Null gehen, aber nicht negativ werden. Multipliziert mit der gesamten N-Aufnahme der Pflanze ergibt sich eine N-Menge, die im Bezug zur relevanten N-Düngermenge die tatsächliche N-Ausnutzung ergibt.

3.8.4.4 Statistik

Die Ergebnisse sind, wenn nicht anders angegeben, als arithmetisches Mittel mit ihrer Standardabweichung dargestellt. Auf die Darstellung der Standardabweichung wurde nur verzichtet, wenn sie die Übersichtlichkeit der Grafik beeinträchtigen würde und/oder die Streuung so groß war, dass kein statistisch absicherbarer Unterschied vorlag. Bei signifikanten Unterschieden wurden Mittelwertvergleiche mit dem Tukey-Test oder dem Student-Newman-Keuls (SNK)-Test durchgeführt. Das Signifikanzniveau wurde für die Irrtumswahrscheinlichkeit $p = 0,05$ berechnet. Der statistische Zusammenhang zweier Variablen wurde mit dem Korrelationskoeffizienten nach Bravais-Pearson (zweiseitig, $\alpha = \text{s.a. Text}$, $f = n-2$) beurteilt wurde.

4 ERGEBNISSE MIT DISKUSSION

4.1 Die N-Wirkung von Weißklee grünmulch im Vergleich zu Maltaflor

In vier Versuchen am Standort Viehhausen war ein direkter Vergleich des Marktwaren-ertrages und der N-Aufnahme der mit Mulch versorgten Parzellen zu denen mit Maltaflor gedüngten und zur Kontrolle möglich. Der Marktwaren-ertrag, insbesondere von Porree, blieb 2005 hinter den Erwartungen zurück, während diese im Folgejahr eher übertroffen wurden (Abb. 4-1, vergl. auch Engelmann et al. 2008). Diese Beobachtung allein mit der 2005 zu Porree zu geringen Vorgabe für den N-Bedarf zu erklären genügt nicht. Denn ohne Düngung wurde 2006 vom Porree etwa doppelt soviel N wie 2005 aufgenommen. Warum also wirkte sich die Düngung 2005 nicht positiv aus? Nachdem dieser Jahreseffekt, zwar weitaus schwächer, auch für Sellerie erkennbar war, muss das Fehlen des Ertragseffektes beim Porree jenseits der N-Versorgung zu suchen sein (s.a. 4.2).

In beiden Jahren bewirkte die N-Düngung mit Maltaflor für beide Messgrößen beider Kulturen keinen signifikanten Mehrertrag zur Kontrolle, bei allerdings durchweg erhöhten Werten (Abb. 4-1). Mit gleicher oder höherer N-Menge in der Düngung durch Mulch als durch Ma (Tab. 3-6), wurde für beide Kulturen in diesen Jahren ebenfalls kein signifikanter Zuwachs an Marktware oder N-Aufnahme im Vergleich zur Kontrolle erzielt. Auffällig war lediglich, dass Sellerie in der Tendenz in beiden Jahren systematisch positiv auf die Steigerung der N-Zufuhr durch Grünmulch reagierte, was sich mit Porree nur 2006 und nur in der N-Aufnahme andeutete. Gerade 2006 deutete sich ein Nachteil der Variante 1WC im Vergleich zu Maltaflor an, was auf N-Immobilisationseffekte durch Grünmulch bei normaler N-Menge hindeutete. Diese Beobachtung steht im Widerspruch zu anderen Berichten, die mit der Zugabe von Leguminosenmaterial eine vorübergehende Stimulierung der Mineralisation erreichen (z.B. Smith und Sharpley, 1990).

Damit ist festzuhalten, dass der Grünmulch den Handelsdünger bei gleich hoher N-Düngung in diesen Versuchen nicht ersetzen konnte, auch nicht bei einer schwachen N-Versorgung, wie sie 2005 für Porree vermutet wurde. Auch lassen die Daten keinen klaren Schluss bzgl. einer kulturspezifischen Reaktion zu. Theoretische Abschätzungen zur Situation in einem realen Betrieb erbrachten, dass tatsächlich pro Flächeneinheit Gemüse mit Mulchdüngung eine Einheit Mulchfläche zur Verfügung steht. Damit ste-

hen mindestens $340 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ im Aufwuchs (Heuwinkel et al. 2005) als Dünger zur Verfügung. Nachdem die normale N-Gabe durch Grünmulch oft ungünstig war, dagegen die doppelte N-Zufuhr tendenziell immer positiv war, wurde in den weiteren Versuchen nur noch die Mulchvariante mit doppelter N-Soll-Menge (2WC) eingesetzt.

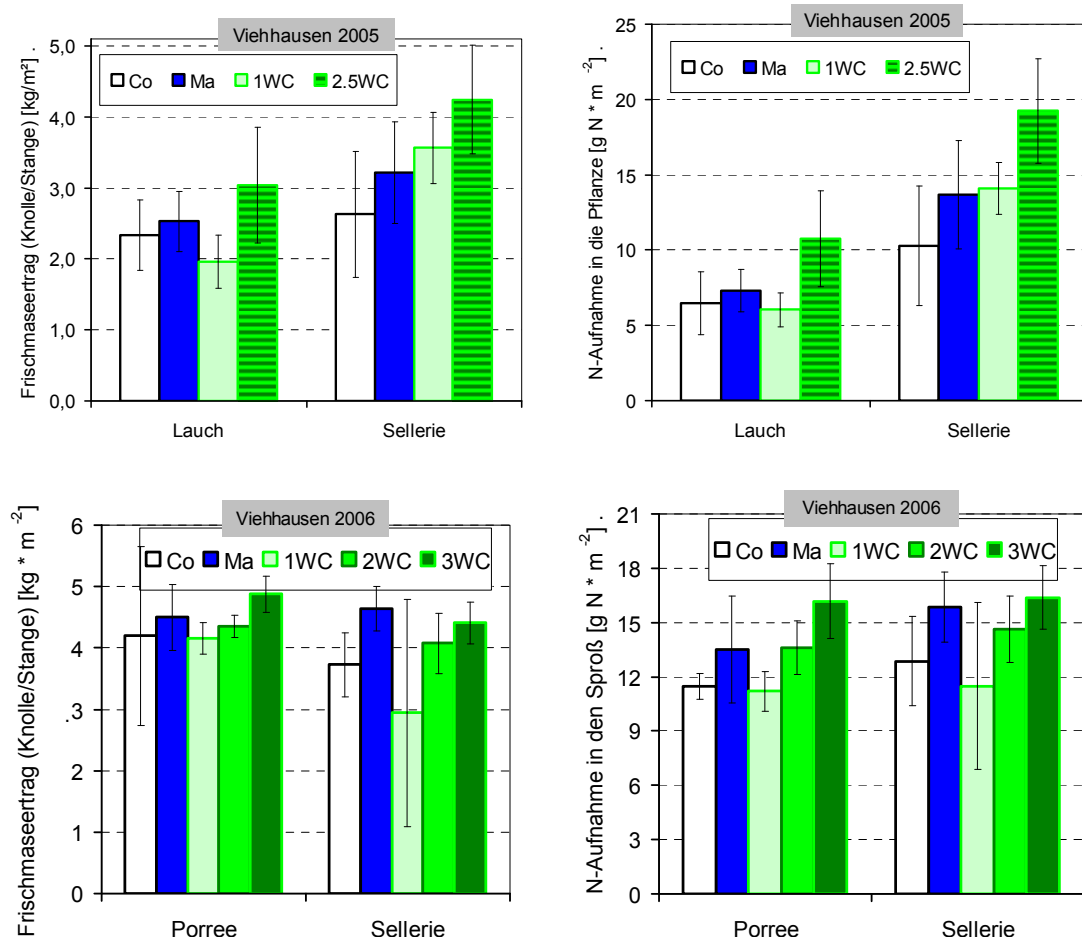


Abb. 4-1: Marktwarenenertrag (links) und N-Aufnahme von Porree und Sellerie im Jahr 2005 (obere Grafiken) und 2006 in Abhängigkeit von N-Dünger und N-Düngemenge am Standort Viehhausen. Dargestellt sind Mittelwert \pm Standardabweichung ($n = 4$).

4.2 Die Bedeutung der gedüngten N-Menge und deren Verteilung für das Wachstum von Porree und Sellerie

In der Vielzahl an durchgeführten Versuchen und Variationen der Grünmulchdüngung gibt es zwei Aspekte, die klar hervorstechen: (1) Die Menge variiert absolut bis um den Faktor vier zwischen geringster und höchster N-Menge (Abb. 4-2 und Abb. 4-4). Gleichzeitig wurde dieser N (2) relativ gleichmäßig über die drei Gaben verteilt, oder gezielt ungleich, wie in FS-I-2007, wo eine Variante die Hälfte der Düngung zum zweiten Termin, eine weitere diese zum letzten Termin bekam. In beiden Fällen war dafür der Anteil zur ersten Gabe gering. Diese Datenlage ermöglicht es aufgrund der Spreizung der Daten nach funktionalen Zusammenhängen zwischen N-Düngung und dem Marktwarenenertrag, der Massebildung und der N-Aufnahme zu fragen.

In der Analyse fand sich für Porree letztlich keine Korrelation zwischen N-Düngermenge und dessen Verteilung zu Ertragskennzahlen, weder für den Grünmulch allein noch für alle geprüften N-Dünger, wie hier am Beispiel der Sprossstrockenmasse dargestellt ist (Abb. 4-3 links). Dies bleibt festzuhalten, obwohl sich in einzelnen Versuchen (FS-2006, BA-2007) Korrelationen andeuteten. Ein systematischer Einfluss des Standortes war ebenfalls nicht zu erkennen, so dass ein weiteres Aufteilen der Daten auch nicht Erfolg brachte. Einzig der Ausschluss, der in der Gesundheit etwas (FS-2007) oder auch stärker (MB-2007) beeinträchtigten Bestände, verbessert die Korrelation, ohne signifikant zu werden ($r^2 = 0,14$). Eine weitere Reduktion des Datensatzes durch Entfernen der Kontrollen (Prüfung allein auf N-Zufuhr) erhöht den berechneten Zusammenhang zwar auf $r^2 = 0,21$ ($m = 5,8$; $a = 557$; $n=12$), unterstreicht aber umso mehr, dass in den Versuchen mit Porree kein N-Düngungseffekt gefunden wurde. Dies würde bedeuten, dass die Bestände nicht primär durch N in ihrer Ertragsleistung limitiert waren, obwohl dies gerade die Daten des ersten Versuchsjahres nahe gelegt hatten (s.a. Zwischenbericht 2005) und sich das 2006 zu erhärten schien (s.o.). Unter Einbeziehung aller Daten zum N-Gehalt im Spross von Porree kann tatsächlich belegt werden, dass N in diesen Versuchen nicht primär wachstumslimitierend gewesen sein kann. Denn schon bei einem vergleichsweise geringen N-Gehalt von 1,5-1,7 % erzielten die Bestände den maximalen Ertrag. Eine weitere Steigerung im N-Gehalt war nicht ertragsrelevant (Abb. 4-3 rechts). Auch im Partnerprojekt mit anderen organischen N-Düngern erwies sich die N-Düngung zu Porree nicht als ertragsfördernd, sondern erhöhte primär nur die N-Aufnahme (höherer N-Gehalt, Engelmann et al. 2008). Smit et al. (1996) zei-

gen mit Mineraldüngung auf, dass Porree nur gut die Hälfte des verfügbaren Stickstoffs nutzen kann. Möglicherweise war damit die Erhöhung des N_{\min} im Boden durch die Düngung für diese Kultur in diesen Versuchen zu gering (s. Kapitel 4.4). Damit müssen andere Wachstumsfaktoren ertragslimitierend gewesen sein. Deshalb ist auch zu hinterfragen, ob die Verbesserung der Ertragsbildung, die sich im einzelnen Versuch (FS-2006 und MB-2007) andeutete, tatsächlich mit der N-Düngung zu erklären ist.

Rückblickend betrachtet war damit der Porree für die zentrale Fragestellung des Projektes auf den geprüften Standorten ungeeignet. Deshalb werden im Weiteren Ergebnisse zu dieser Kultur nur hinzugezogen als sie das Gesamtverständnis der diskutierten Prozesse verbessern.

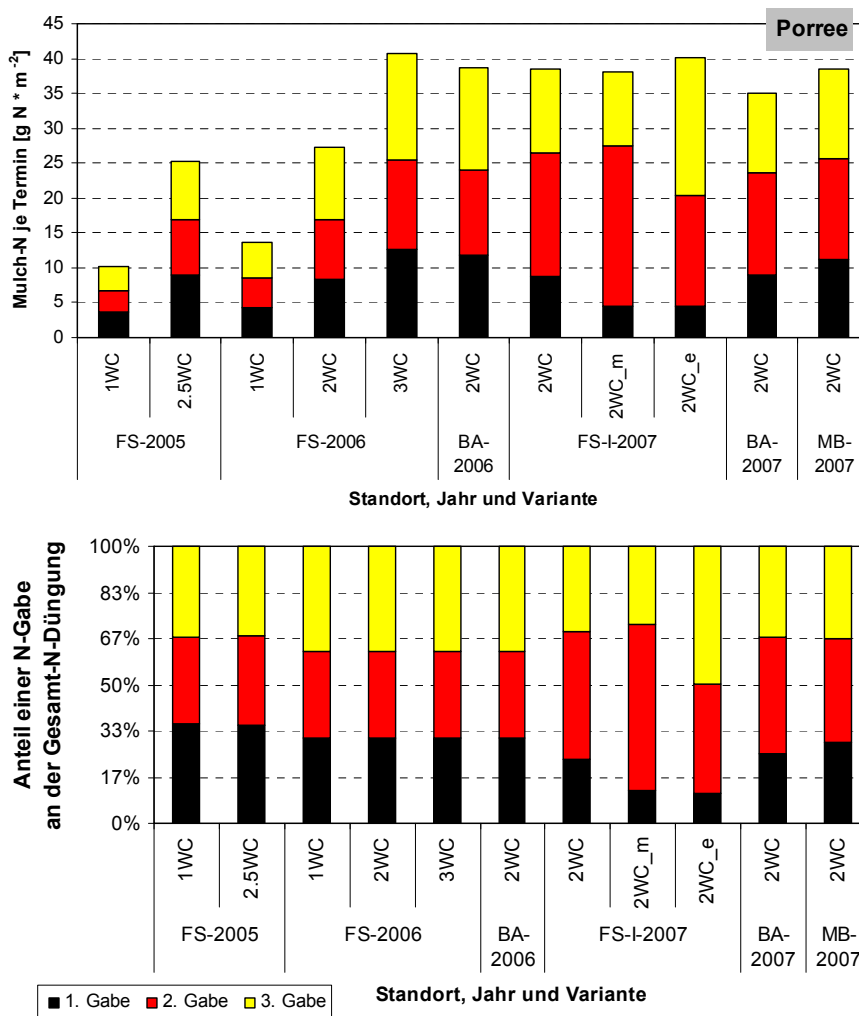


Abb. 4-2: N-Menge (oben) und deren Verteilung (unten) die mit der Grünmulchdüngung in den Versuchen dem Porree zugeführt wurde.

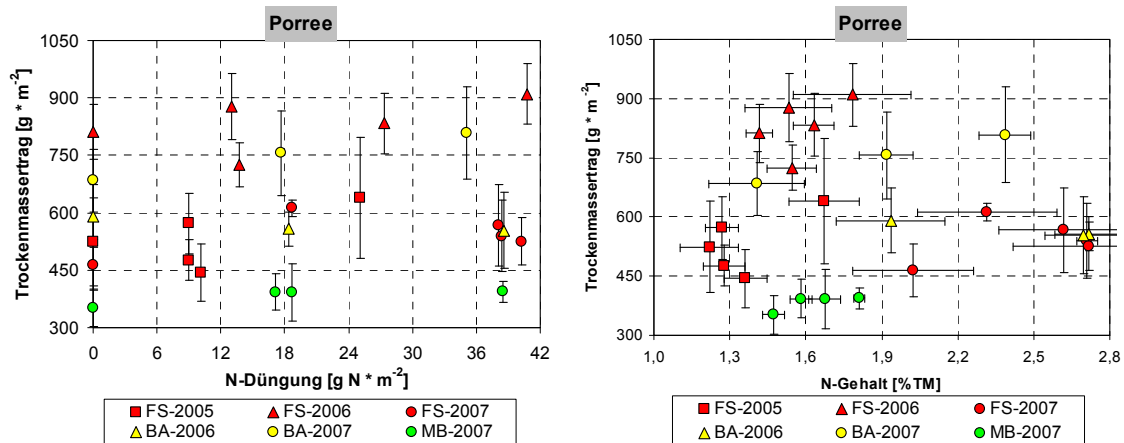


Abb. 4-3: Zusammenhang zwischen der N-Düngemenge (links) bzw. dem N-Gehalt im Spross von Porree zur Schlussernte (rechts) und der bis dahin gebildeten Spross trockenmasse. Dargestellt sind Mittelwert \pm Standardabweichung (je nach Versuch $n=3$ bzw. 4).

Gänzlich anders fällt diese Analyse für Sellerie aus. Sowohl für den Grünmulch allein (hier nicht extra dargestellt), als auch über alle organischen Dünger hinweg incl. der Kontrolle, erklärte die N-Düngung knapp die Hälfte der gemessenen Ertragsvariation über alle Versuche (Abb. 4-5 links). Werden die auffällig schwachen Werte des Grünmulches von FS-2007 in der Analyse ausgeschlossen, wird $\frac{2}{3}$ bis $\frac{3}{4}$ der Ertragsvariation erklärt. Die Ursache für den hohen Grad an statistischem Zusammenhang liefert Abb. 4-5 (rechts): die N-Gehalte im Spross variieren von 1,3 bis 2,6 % und stehen in engem Zusammenhang zur Massebildung. Unter Ausschluss der Daten zu Grünmulch im Versuch FS-2007 steigt der über den N-Gehalt erklärte Anteil der Ertragsvarianz auf 66 % und bei weiterer Reduktion um MB-2007 auf 88 % ($n = 15$, signifikant mit $\alpha < 0,01$). Die Detailanalyse des Versuchsjahres 2007 unterstützt dieses Vorgehen: für die Standorte BA und FS werden sehr ähnliche Regressionskoeffizienten berechnet, während für MB die Steigung doppelt so groß ist, der Zusammenhang damit sensibler wird, ohne aber an Übereinstimmung einzubüßen (Abb. 4-6).

Sellerie erfüllte damit über alle Jahre und Standorte hinweg die Voraussetzungen die Wirksamkeit eines organischen N-Düngers, hier des Grünmulches zu erklären. Infolgedessen wird bei der genaueren Betrachtung dieser Frage im Weiteren mehr auf Sellerie eingegangen (s.o.).

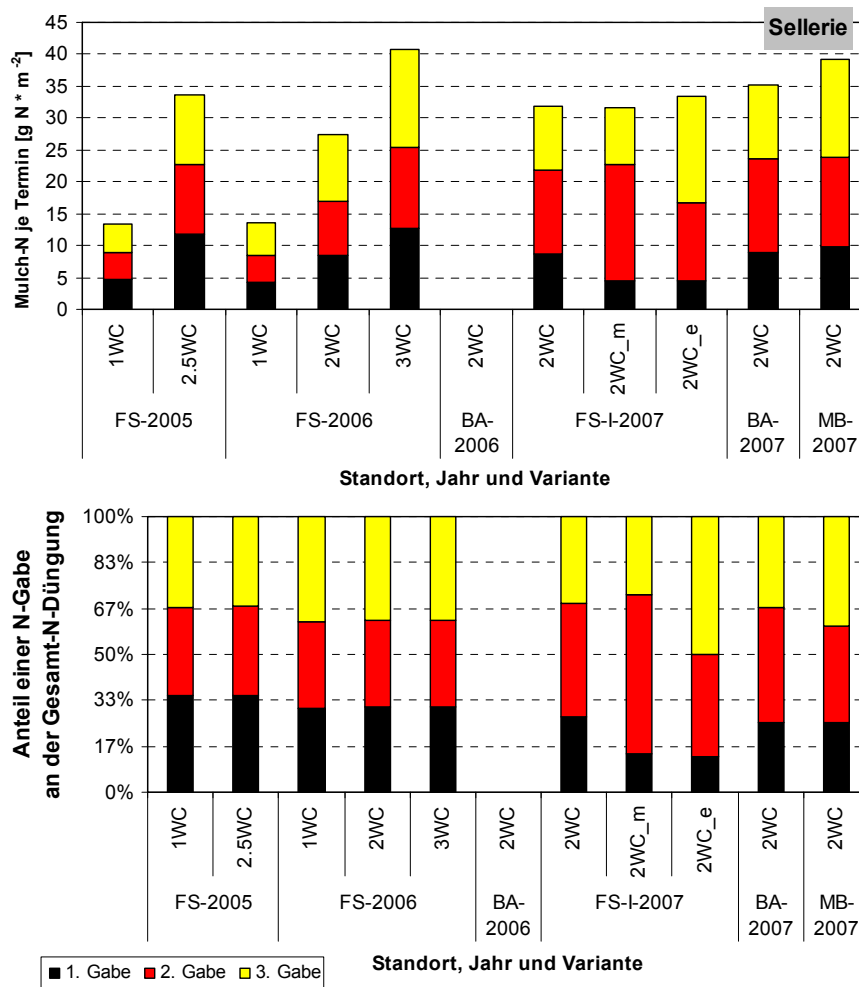


Abb. 4-4: N-Menge (oben) und deren Verteilung (unten) die mit der Grünmulchdüngung in allen Versuchen zu Sellerie zugeführt wurde.

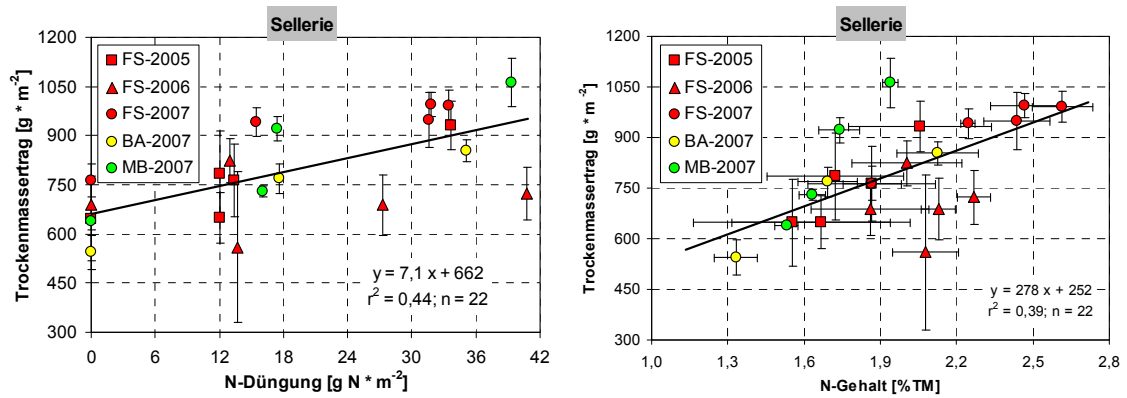


Abb. 4-5: Zusammenhang zwischen der N-Düngemenge (links) bzw. dem N-Gehalt im Spross von Sellerie zur Schlussernte (rechts) und der bis dahin gebildeten Sprossstrockenmasse. Dargestellt sind Mittelwert \pm Standardabweichung (je nach Versuch $n=3$ bzw. 4). Beide Korrelationskoeffizienten sind signifikant (zweiseitig, $\alpha < 0,01$).

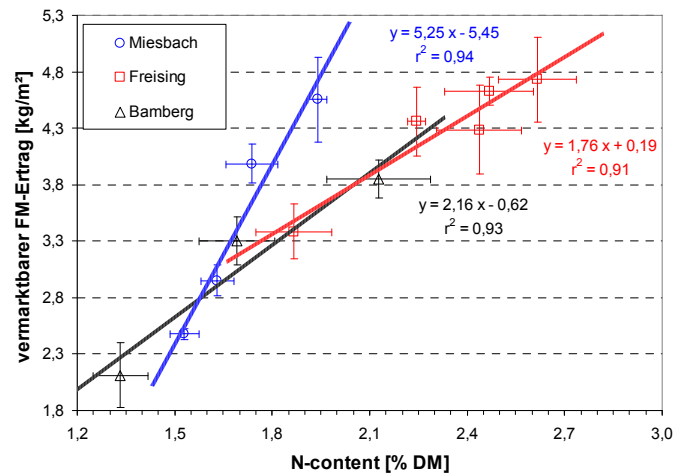


Abb. 4-6: Zusammenhang zwischen dem N-Gehalt im Spross von Sellerie zur Schlussernte und dem Ertrag an marktfähiger Knollenfrischmasse. Dargestellt sind Mittelwert \pm Standardabweichung (FS: $n=3$; MB und BA: $n=4$). Die Korrelationskoeffizienten für FS und MB sind signifikant (zweiseitig, $\alpha < 0,05$), für BA dagegen nicht.

4.3 Ausnutzung des gedüngten Stickstoffs

Die scheinbare Ausnutzung des Düngestickstoffs variierte zwischen den Düngern, Versuchen und Kulturen enorm (Abb. 4-7). Bis zu 45% des organischen N im Dünger wurde durch den Vergleich mit der ungedüngten Kontrolle als Mehr-N-Aufnahme erkannt und damit dem Dünger-N zugeordnet. Ebenso gab es aber auch schwach negative Werte, die auf eine verminderte Verfügbarkeit von Boden-N durch die organische Düngung hinweisen. Wenig überraschend ist nach den bisherigen Ausführungen, dass Porree im Mittel deutlich weniger von diesem N aufnahm.

Durch die ^{15}N -Markierung lässt sich der Grünmulch-N dagegen direkt verfolgen. Auffällig ist als erstes, dass die tatsächliche Erreichbarkeit von diesem N weitaus weniger schwankt (15-50 %). Zusätzlich wird sie wohl systematisch vom Versuch (Jahr * Standort * Kultur) beeinflusst, nicht dagegen von der Menge und Verteilung dieses N, wie bei der scheinbaren N-Ausnutzung. Sogar die bewusst stark verschobene Verteilung des N in Viehhausen 2007 änderte nichts daran, dass der Anteil, den der Sellerie aus jeder Düngergabe aufnahm, in der Abfolge der Gaben in gleichem Maße abnahm (Abb. 4-8), obwohl die absoluten N-Mengen extrem unterschiedlich waren. Deshalb ist zu vermuten, dass die gleichbleibende Bedeutung jeder Düngergabe in Miesbach, aber auch in Bamberg, ein Charakteristikum des Standortes sein könnte, worin diese sich von Viehhausen-Freising unterscheiden würden.

Im Vergleich der beiden Methoden findet sich 2007 in allen Versuchen eine sehr gute Übereinstimmung der Daten, während 2005 und 2006 durchweg kein Zusammenhang bestand. Auffällig ist, dass in beiden Jahren die FUE-Werte relativ hoch sind. Dagegen sind die Werte der aFUE nur beim Sellerie im Jahre 2006 auffällig niedrig. Interessant ist, dass dies der Versuch ist, der die an sich gute Korrelation zwischen N-Gehalt und Massebildung abschwächt (Abb. 4-5 rechts). Eine plausible Erklärung für die Auffälligkeiten zu geben fällt schwer: Sicher kann es bei der Umsetzung der organischen Dünger im Boden zu starken Interaktionen mit dem bodenbürtigen N-Verbindungen kommen. Es fällt aber schwer solch einen Effekt stärker durch das Jahr als den Standort beeinflusst zu sehen.

Nichtsdestotrotz, die Daten des Selleries, der ja als einzig aussagekräftige Kultur blieb, zeigen deutlich auf, dass Weißklee Grünmulch einen organischen N-Handelsdünger vollwertig ersetzen kann. Dies aber nur, wenn berücksichtigt wird, dass dazu mindestens die

doppelte N-Menge gegeben werden sollte, da sonst mit einer Immobilisierung von Boden-N gerechnet werden muss. Nachdem aber dieser N betriebsintern in ausreichendem Maße zur Verfügung steht, beeinträchtigt diese Randbedingung nicht ihre Anwendbarkeit.

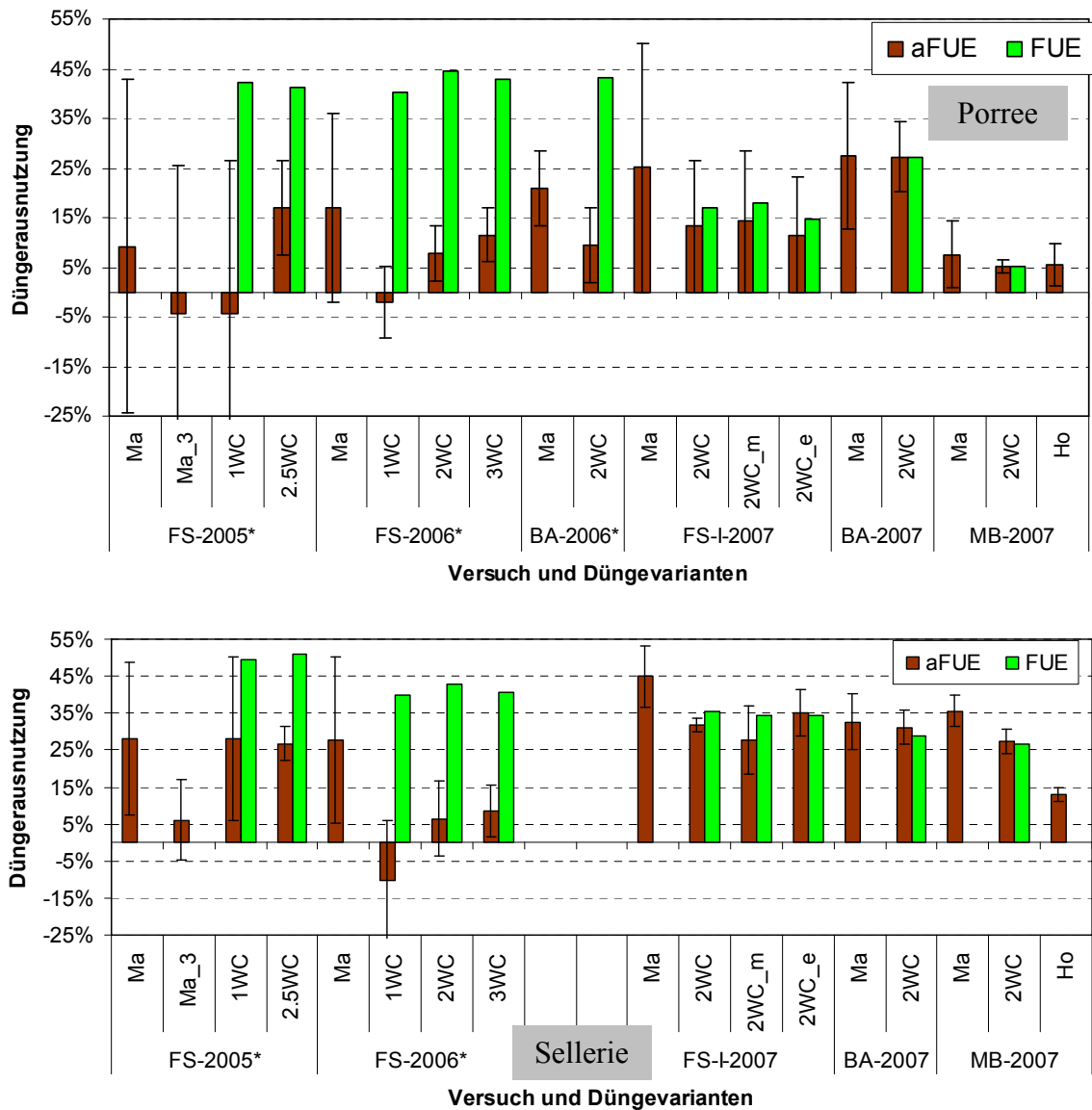


Abb. 4-7: Ausnutzung des gedüngten organischen N durch Porree (oben) und Sellerie (unten). Dargestellt sind die scheinbare (aFUE) und die tatsächliche (FUE) Ausnutzung des Dünger-N. Daten sind Mittelwerte (n = 3 oder 4) der aFUE +/- Standardabweichung. Sie setzt den N-Mehrertrag im Vergleich zur Kontrolle ins Verhältnis zur Düngermenge. Die tatsächliche N-Ausnutzung ist nur für den Grünmulch berechenbar, da sich diese aus der ¹⁵N-Anreicherung im Spross im Vergleich zum ¹⁵N-markierten Mulch-N ergibt. In den Versuchen mit '*' ist der Wert aus Zwischenenernten abgeleitet.

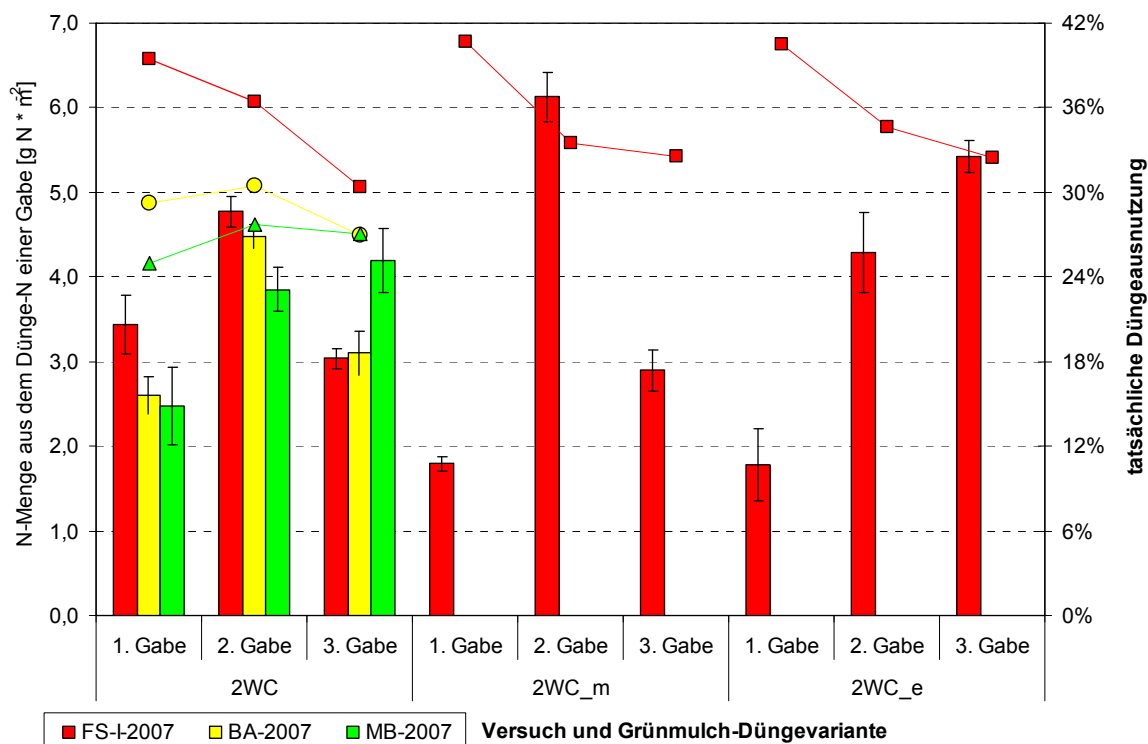


Abb. 4-8: Ausnutzung des Grünmulch-N durch Porree (oben) und Sellerie (unten) im Jahr 2007. Dargestellt ist die tatsächliche Ausnutzung des Dünger-N aus den einzelnen Düngeterminen (Gaben) bis zum . Daten sind Mittelwerte ($n = 3$ oder 4) der FUE +/- Standardabweichung. Sie setzt den N-Mehrertrag im Vergleich zur Kontrolle ins Verhältnis zur Düngermenge. Die tatsächliche N-Ausnutzung ist nur für den Grünmulch berechenbar, da sich diese aus der ^{15}N -Anreicherung im Spross im Vergleich zum ^{15}N -markierten Mulch-N ergibt. In den Versuchen mit '*' ist der Wert aus Zwischenernten abgeleitet.

4.4 Einfluss der organischen Düngung auf das N_{\min} -Angebot im Boden

Zum N_{\min} -Angebot im Boden liegen in allen Versuchen umfangreiche Daten vor, deren gesamte Darstellung den Rahmen dieses Berichtes sprengen würde. Hier werden anhand der Daten aus 2007 wiederholt aufgetretene Effekte dargestellt. Die übliche Beprobung vor jedem Düngeereignis und zur Schlussernte wurde, aufgrund der Erfahrungen im Partnerprojekt der LWG, 2007 im Versuch Viehhausen-II durch eine zeitlich dichtere Beprobung ergänzt (s.a. Kreppold, 2009).

Die Werte für beide N-Formen im N_{\min} zeigten regelmäßig eine große Varianz. Unterschiede der Düngung zur Kontrolle waren deshalb nur im Einzelfall statistisch abgesichert, was in Abb. 4-9 dokumentiert ist, worauf aber sonst zugunsten der besseren Übersichtlichkeit den folgenden Grafiken verzichtet wurde. Obwohl über alle Standorte hinweg vergleichbare Reaktionsmuster beobachtet wurden, fanden diese auf sehr unter-

schiedlichem Niveau statt (Abb. 4-10 bis Abb. 4-13). Begonnen wurde zur Pflanzung 2007 an allen Standorten mit ungefähr 60 kg N_{\min} -N/ha in 0-60 cm Tiefe, die sich entweder sehr gleichmäßig über die drei Tiefen verteilten (MB), sehr stark in der obersten Schicht konzentrierten (0-15 cm, FS), oder eher in der größeren Tiefe (30-60 cm, BA) vorlagen. Nach der Pflanzung kam es in MB in 0-15 cm und in FS in 0-30 cm zu einer starken Zunahme des N_{\min} -Gehaltes, während in BA keine Reaktion erkennbar war. Unterschiede in der Bodenbearbeitung zur Pflanzbettvorbereitung, als da waren tieferes Pflügen in FS, flaches Pflügen in MB und frühzeitigeres Fräsen in BA, können diese Unterschiede erklären, die sich sonst, z.B. über Bodeneigenschaften wie Humusgehalt und -qualität, nicht erklären ließen. Im weiteren Versuchsverlauf stand zu erwarten, dass mögliche Standortunterschiede deutlicher werden, da sich die Behandlung der Flächen kaum noch unterschied (s.a. Kapitel 3.7). Tatsächlich deuten die Daten auch auf große Unterschiede hin.

Das Management war ohne Bedeutung beim NH_4 -N, das in den Tiefen 0-15 und 15-30 cm untersucht wurde, und unabhängig von Standort und N-Düngermenge bzw. -art schwankte (Abb. 4-10 bis Abb. 4-13). Das Angebot an NH_4 -N schien in Bamberg in der Tendenz eher geringer als in Freising oder gar in Miesbach zu sein und in den Grünmulchvarianten traten wiederholt eher mal tendenziell höhere Gehalte als in der Kontrolle auf. Die enger gestaffelte, 14tägige Beprobung im Versuch Viehhausen-II unterstreicht die geringe Bedeutung des NH_4 -N für die systematische Variation im N_{\min} , indem nur im Einzelfall nach einer Düngung und nur in der obersten Schicht erhöhte Gehalte festgestellt wurden (Abb. 4-9). Nachdem das NH_4 -N-Angebot somit nahezu konstant war, schwankte dessen Anteil am gesamten N_{\min} zwischen den Standorten und Terminen sehr stark.

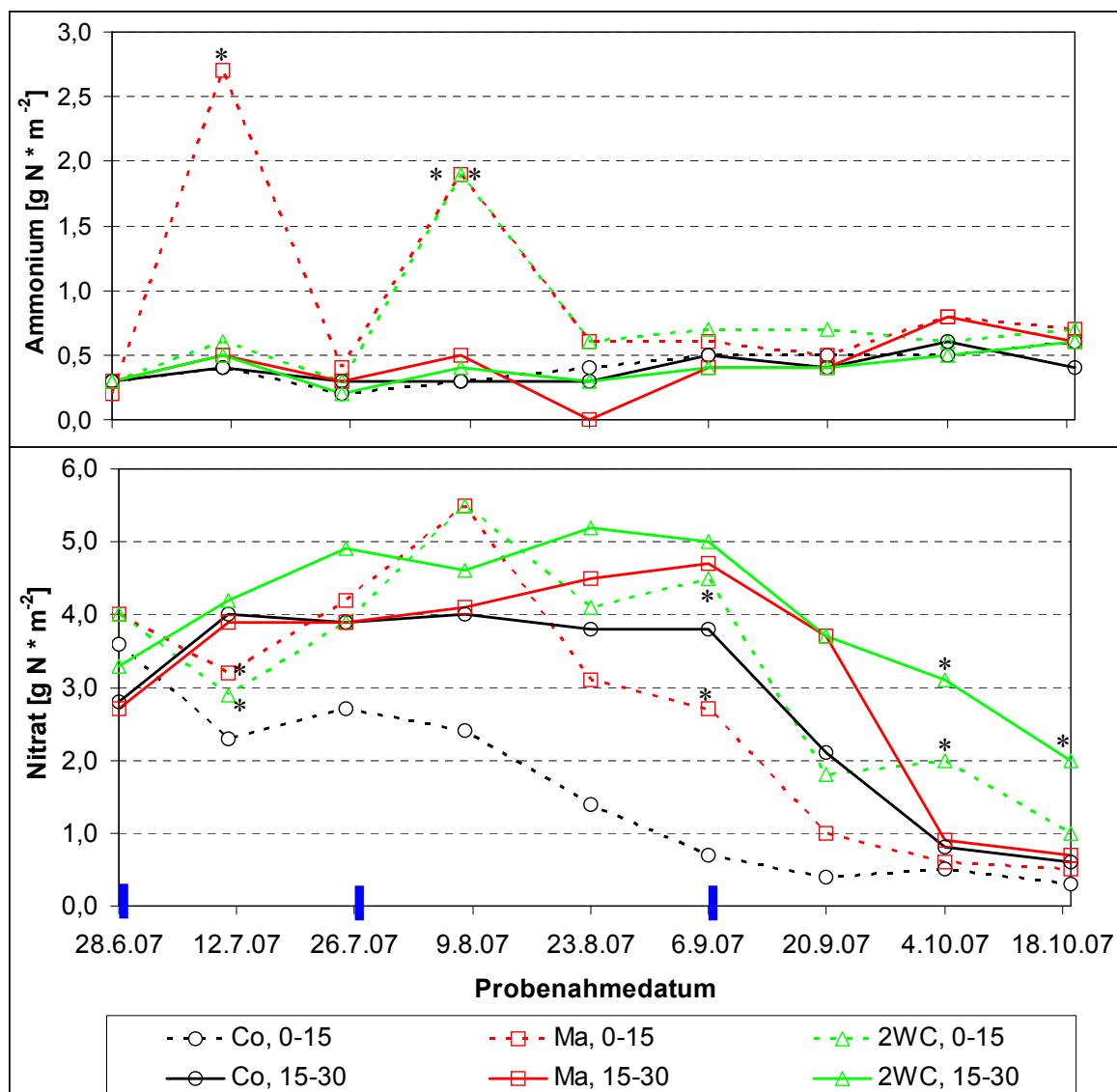


Abb. 4-9: Angebot an N_{\min} in 0-15 und 15-30 cm Bodentiefe von jeder Düngervariante im Verlauf des Versuches Viehhausen-II mit Porree. Daten sind Mittelwerte ($n = 3$); signifikante Unterschiede zur Kontrolle innerhalb einer Tiefe zum gleichen Termin sind mit * am Datensymbol gekennzeichnet (SNK-Test, $\alpha \leq 0,05$; Kreppold, 2009). Die blauen, fett ausgeführten Striche auf der Abszisse kennzeichnen die Düngetermine des Grünmulches sowie der zweiten Maltaflorgabe (26.07.) (s.a. **Tab. 3-6** und **Tab. 3-7**).

Anders als Ammonium differenzierten die **Nitratgehalte** im Vergleich der Standorte erheblich. So stiegen sie in BA auf selten mehr als 16 kg NO_3 -N/ha pro Tiefe, während es in MB eher 20-30 kg und in FS mit 50-60 kg noch mehr waren. Auch im Maximalwert spiegeln sich diese Verhältnisse gleichermaßen wieder. Diese Differenzen wurden innerhalb der Standorte durch die Kulturen kaum modifiziert, wenn man vom Porree in MB absieht, der aufgrund der grundsätzlichen Gesundheitsprobleme aber nicht bewertet werden kann. Auf den Standorten stellten sich also innerhalb von vier Wochen

nach der Gabe einer ähnlichen Menge an N über organische Dünger sehr unterschiedliche Anreicherungen an N_{\min} -N in Form von Nitrat ein. Nichtsdestotrotz folgten die Daten innerhalb eines Standortes und Düngers im Wesentlichen der Differenzierung der N-Menge, die gegeben wurde (vergleiche Abb. 4-10 und Abb. 4-2), ohne das dies statistisch absicherbar war. Standort- und kulturübergreifend zeigte sich wiederholt, dass die organische Düngung sich in anfänglich erhöhten Nitratgehalten nur der obersten Schicht niederschlug, später auch in 15-30 cm (dritter Grünmulchdüngetermin) bzw. bis in 30-60 cm Tiefe (Endernte, außer in MB) bemerkbar war. Vergleicht man diese Daten mit den Daten zu Ausnutzung des Dünger-N, so stellen sich einige Fragen:

- (1) zwischen den Kulturen gab es deutliche Unterschiede in der N-Düngerausnutzung. Warum wurde dies außer in MB nicht durch unterschiedliche N_{\min} -Werte gespiegelt?
- (2) für Sellerie unterschied sich die N-Ausnutzung zwischen den Standorten 2007 nur geringfügig (10 %punkte). Warum unterschieden sich dann die N_{\min} -Gehalte so deutlich (bis zu 2fach)?
- (3) warum sind die Unterschiede am Ende nahezu verschwunden?
- (4) warum verändert die doppelte N-Menge im Grünmulch im Vergleich zum Handelsdünger die N_{\min} -Gehalte im Boden nur marginal?

Nachdem die Daten keinen Hinweis auf eine nennenswerte Verlagerung an Nitrat im Bodenprofil geben (Abb. 4-11 bis Abb. 4-13, Kreppold, 2009), müssten sich die Mineralisierung (Ausmaß und/oder Geschwindigkeit) und/oder die Menge an gasförmigen N-Verlusten unterschieden haben. Zum Verlustpotential an N-haltigen Gasen war ein Topfversuch mit typischen Oberböden aus Viehhäusern und Bamberg durchgeführt worden (Eicheldinger, 2005). Dort zeigte sich, dass aufgrund der anderen Textur (s.a. Aulakh et al., 1991) der bamberger Boden nach einer Weißkleedüngung zwar etwas mehr Lachgas als der viehhäuser Boden freisetzte (1,4% des Dünger-N), dies aber innerhalb des Rahmens von 1,0% (0,3-3%) blieb den das IPCC (De Klein et al., 2006) vorschlägt und andere Autoren dokumentiert haben (Harrison et al., 2002, Larsson et al., 1998). Damit würden auch daraus abgeleitete Verluste an N_2 die Unterschiede im N_{\min} nicht erklären helfen, insbes. da im Verlauf der Vegetation ausreichend geringe Bodenluftwerte, die N_2 -Verluste begünstigen (Arah, 1997), nur wenige Stunden nach Starkniederschlägen auftraten. Letztlich muss deshalb die Umsetzung des zugeführten N deutlich vom Standort modifiziert worden sein, ohne das sich dies auf das Wachstum der Pflan-

zen erkennbar ausgewirkt hätte. Eicheldinger (2005) konnte klare, positive Primingeffekte der Mulchdüngung auf den N-Umsatz im Boden belegen (s.a. Smith und Sharpley, 1990) während die Daten aus den Versuchen von 2005 und 2006 zur N-Ausnutzung von Grünmulch-N bei normaler N-Zufuhr auf einen negativen Primingeffekt (= Immobilisierung von Boden-N) hinweisen (Abb. 4-7). Kreppold (2009) konnte diese Reaktion in seinem Versuch in Viehhausen in anfänglich (d.h. bei noch geringen N-Mengen in der organischen Düngung) negativen Nettonitrifikationsraten wiederfinden. Allerdings war möglicherweise das Messintervall in dieser Untersuchung an sich zu weit, da Kuzyakov et al. (2000) betonen, dass positive Primingeffekte nur sehr kurz nach einer organischen Düngung wahrscheinlich sind. Wie auch immer, eine erhebliche Bedeutung der Interaktion zwischen Boden/Standort und organischem Dünger bzgl. seiner Netto- und Bruttomineralisation bleibt aus dieser Untersuchung festzuhalten, ohne das sich aus den vorliegenden Daten allerdings klare Regeln für die Praxis ableiten ließen; mit einer Ausnahme: für eine Ertragssteigerung durch Grünmulch bestand die Notwendigkeit zu einer erhöhten (doppelten) N-Zufuhr. Dies schlug sich nicht in erkennbar größeren Unterschieden im N_{\min} im Vergleich zum Maltaflor nieder, weder in den hier dargestellten Daten von 2007, noch 2006 bei der systematischen Steigerung der N-Menge (1 bis 3fach) im Grünmulch. Damit scheint dieser Parameter oder auch das Nitrat bzw. Ammonium allein, nicht ausreichend zu sein, um die tatsächliche Wirkung einer organischen Düngung in dieser Versuchsanstellung zu beschreiben. Eher belegen die Daten eine Entkopplung der N-Aufnahme der Pflanzen aus einem frisch ausgebrachten, gut umsetzbaren organischen N-Dünger vom daraus resultierenden N_{\min} -Angebot im Boden.

Ein Versuchsziel wurde allerdings klar erreicht: die Verstetigung eines erhöhten N_{\min} -Angebotes durch die regelmäßige Grünmulchdüngung. Bis weit in den September hinein, und damit in Abschnitte noch sehr starker N-Aufnahme durch beide Kulturen, wurden deutlich erhöhte N_{\min} -Gehalte im Boden erreicht (Abb. 4-9). Profitiert hat davon offensichtlich aber nur der Sellerie wie schon oben ausgeführt.

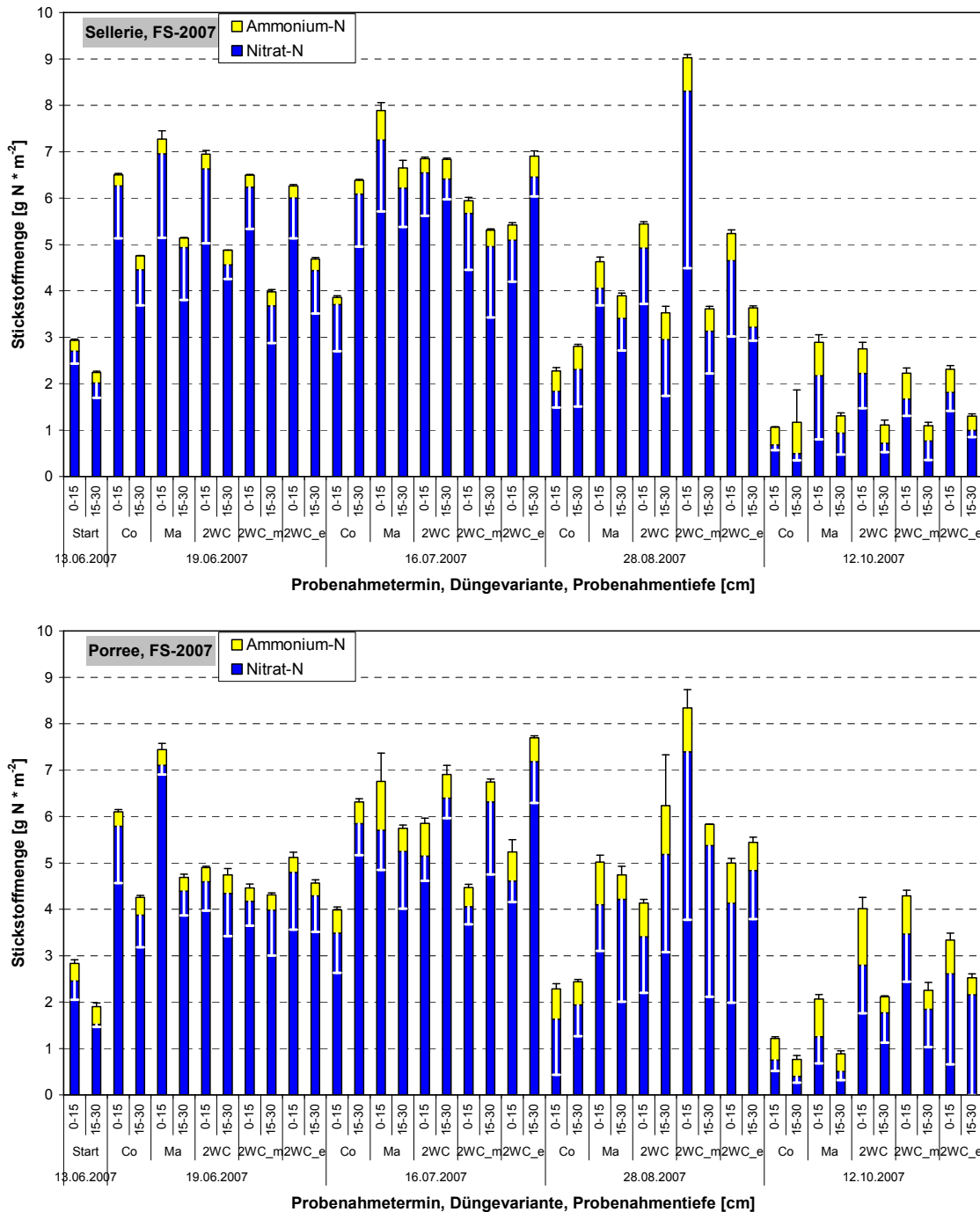


Abb. 4-10: N_{min}-Gehalte in 0-15 und 15-30 cm Bodentiefe einer jeden Düngervariante im Versuch Viehhausen-I mit Porree (unten) und Sellerie (oben). Die Bodenproben wurden vor Ausbringung der Dünger, sowie direkt nach der Ernte gezogen (s.a. **Tab. 3-6** und **Tab. 3-7**). Daten sind als arithmetische Mittelwerte (n = 3) mit jeweils einer Standardabweichung minus (weiß, Nitrat) bzw. plus (schwarz, Ammonium).

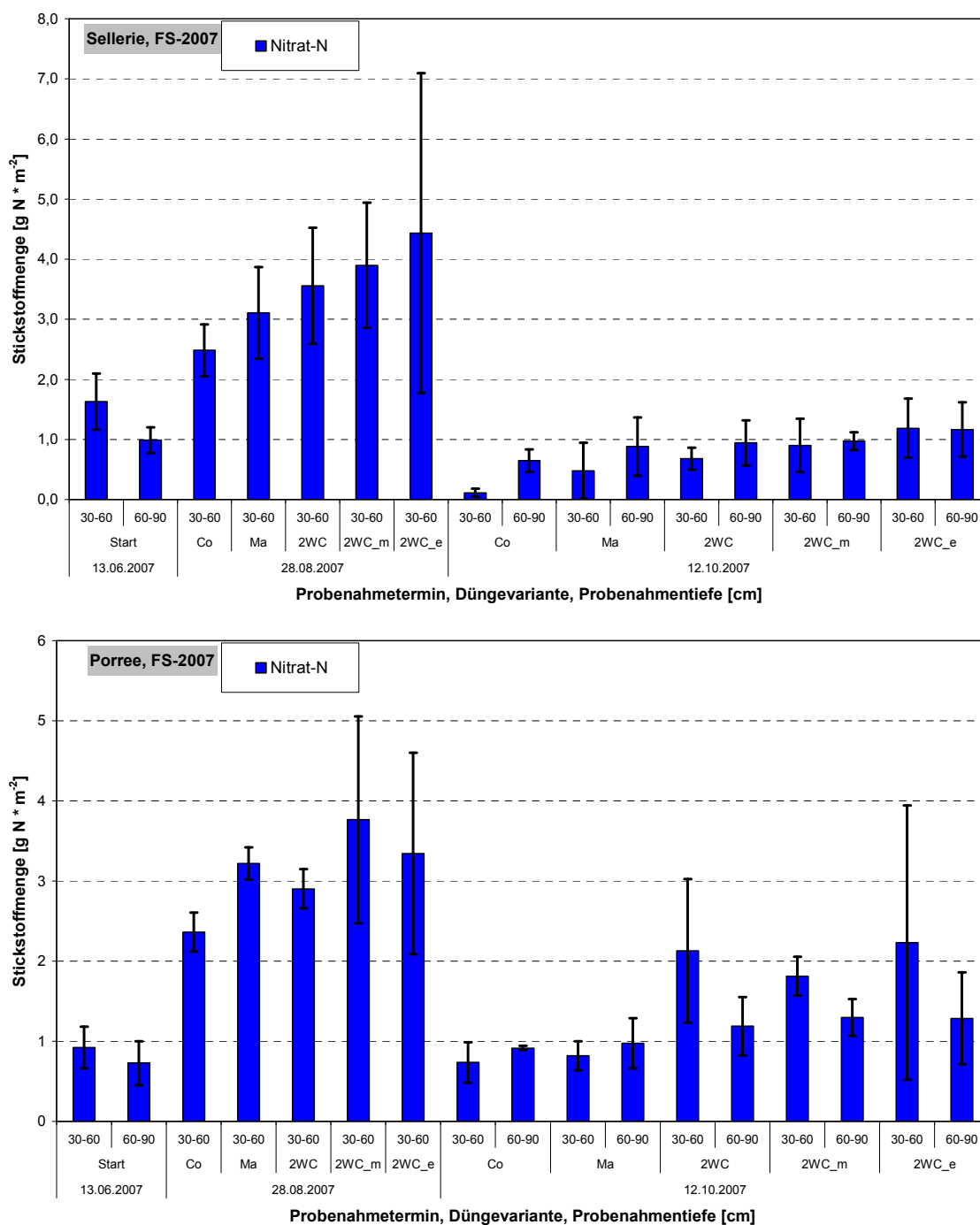


Abb. 4-11: Nitratgehalte in 30-60 und 60-90 cm Bodentiefe einer jeden Düngevariante im Versuch Viehhausen-I mit Porree (unten) und Sellerie (oben). Die Bodenproben wurden vor Ausbringung der Dünger, sowie direkt nach der Ernte gezogen (s.a. **Tab. 3-6** und **Tab. 3-7**). Dargestellt sind arithmetische Mittelwerte ($n = 3$) plus-minus einer Standardabweichung.

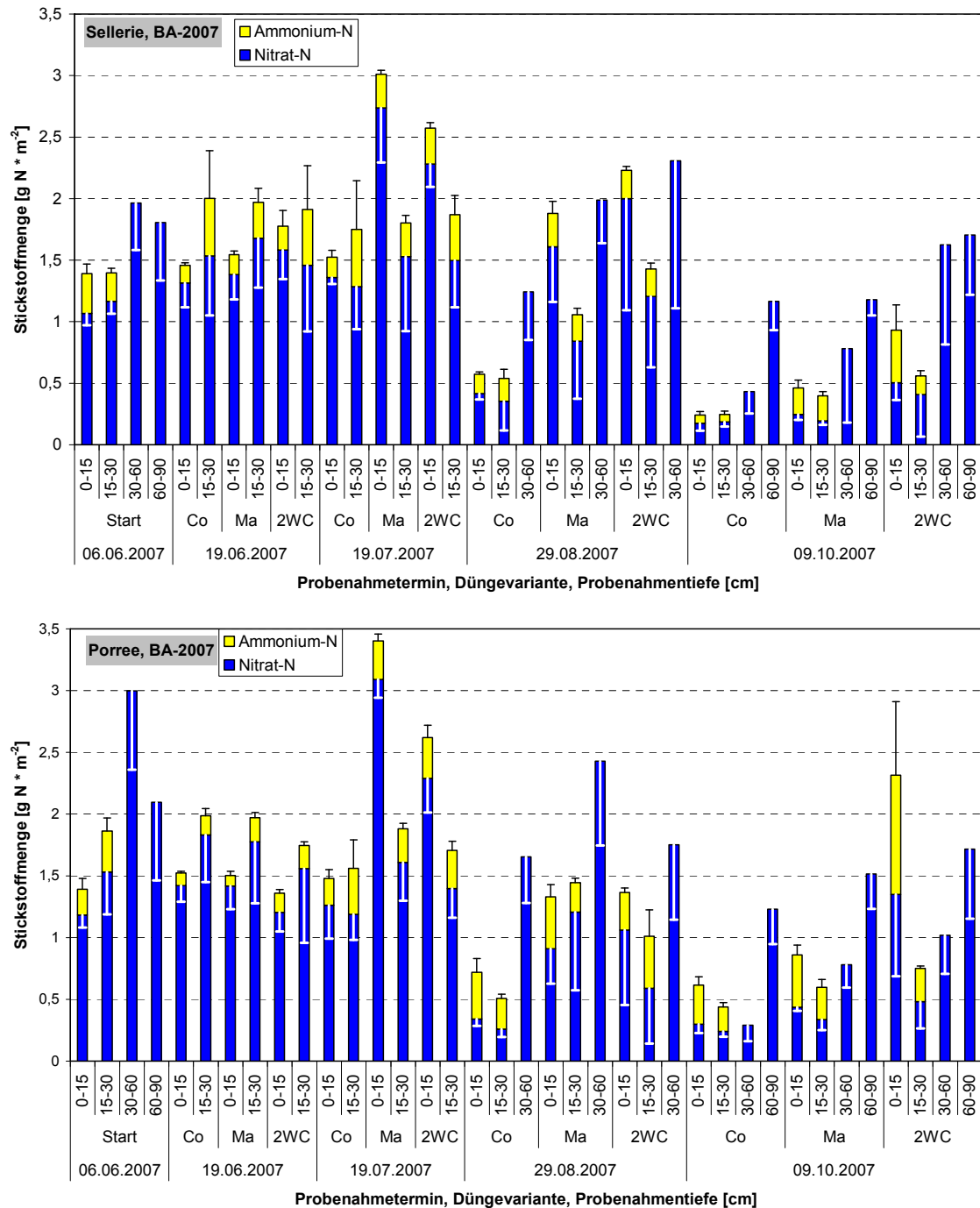


Abb. 4-12: N_{min}-Gehalte in allen beprobten Bodentiefen einer jeden Düngelvariante im Versuch in Bamberg mit Porree (unten) und Sellerie (oben). Die Bodenproben wurden vor Ausbringung der Dünger, sowie direkt nach der Ernte gezogen (s.a. **Tab. 3-6** und **Tab. 3-7**). Dargestellt sind arithmetische Mittelwerte (n = 3) mit jeweils einer Standardabweichung minus (weiß, Nitrat) bzw. plus (schwarz, Ammonium).

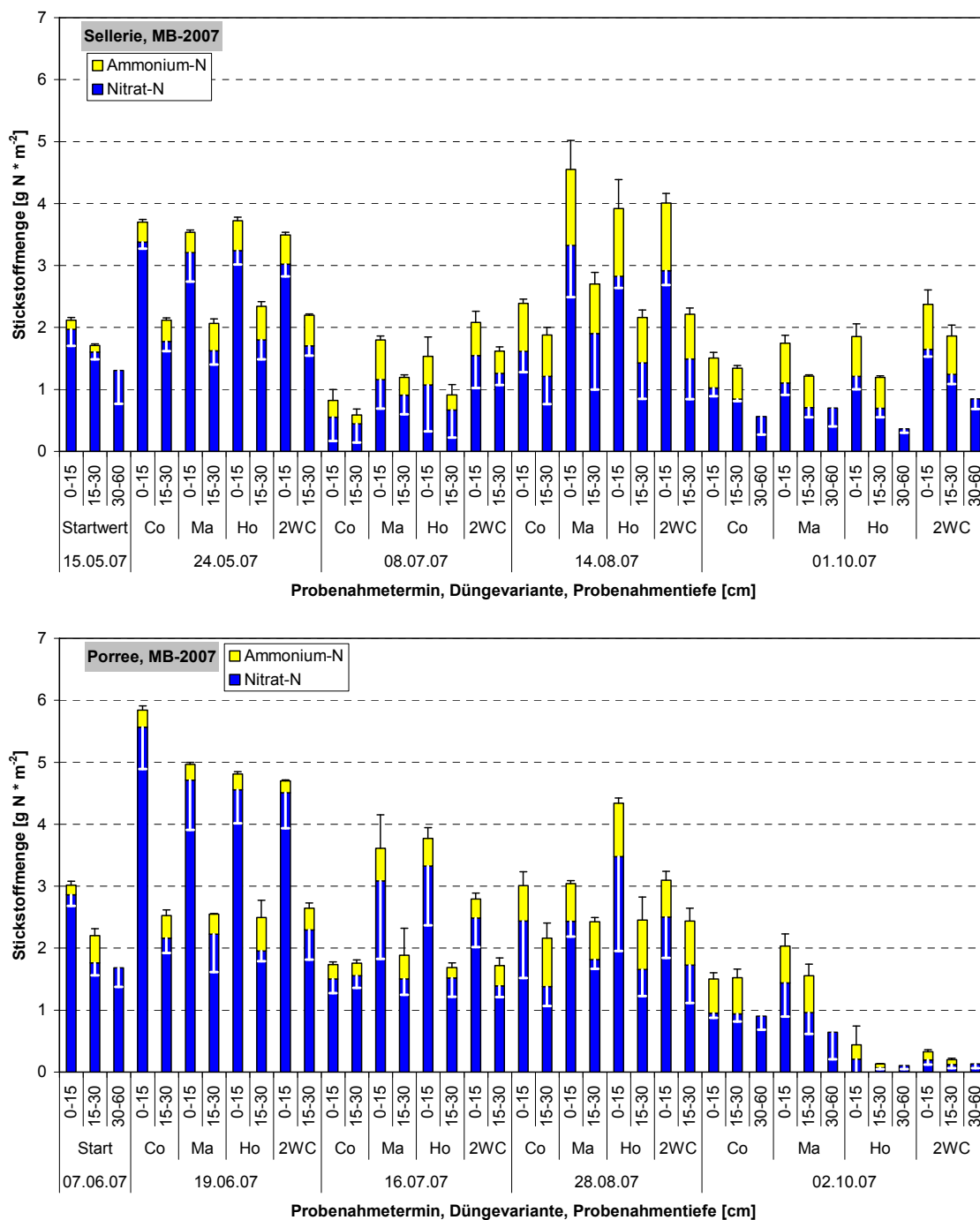


Abb. 4-13: N_{\min} -Gehalte in allen beprobten Bodentiefen einer jeden Düngervariante im Versuch in Miesbach mit Porree (unten) und Sellerie (oben). Die Bodenproben wurden vor Ausbringung der Dünger, sowie direkt nach der Ernte gezogen (s.a. **Tab. 3-6** und **Tab. 3-7**). Dargestellt sind arithmetische Mittelwerte ($n = 3$) mit jeweils einer Standardabweichung minus (weiß, Nitrat) bzw. plus (schwarz, Ammonium).

Abschließend noch ein paar Worte zu möglichen **Nitratverlusten**. Nachdem insbesondere mit dem Grünmulch sehr hohe Mengen an N ausgebracht wurden, liegt es nahe eine Erhöhung des Nitratauswaschungspotentials aufgrund erhöhter Nitratgehalte zu

vermuten. In allen drei Jahren waren die Nitratreste zur Ernte innerhalb des Profils für Gemüseanbau allerdings moderat. Innerhalb von 0-60 cm waren es selten mehr als 50 kg N/ha. Wiederholt waren die N_{\min} -Reste nach einer organischen Düngung gegenüber der Kontrolle höher und die Mulchvarianten wiesen teilweise tendenziell noch mehr Nitrat auf (Abb. 4-11). Direkt belegen die Daten damit aber nur eine geringfügige Erhöhung des Nitratverlustpotentials durch die Düngung. Unberücksichtigt blieb aber innerhalb in dieser Untersuchung die mögliche Nachwirkung dieses N auf die Mineralisation in der Vegetationsruhe und im Folgejahr, wie es im ursprünglichen Konzept Bestandteil der Untersuchungen gewesen wäre. Immerhin konnte sowohl netto als auch brutto nur für knapp der Hälfte des ausgebrachten N eine Düngewirkung belegt werden. Es ist zu erwarten, dass der Rest des ausgebrachten Stickstoffs hauptsächlich im Boden zu finden sein dürfte und aus diesem Pool kurz- bis mittelfristig mineralisiert werden wird (Gutser et al., 2005). Nachdem frisch immobilisierter Stickstoff um den Faktor 4-5 stärker remineralisiert wird als der Stickstoff der organischen Ausgangssubstanz des Bodens (Vilsmeier und Gutser, 1988), baut sich aufgrund der großen bisher ungenutzten N-Menge schnell ein relevanter N-Überhang auf.

4.5 Fazit, Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Wenn wieder die Systembetrachtung des ursprünglichen Versuchskonzeptes in Erinnerung gerufen wird, dann stehen mit den vorgestellten Daten sowohl positive als auch ein paar relativierende Ergebnisse zur Verfügung.

Etwas überraschend war, dass sich der Porree in diesen Versuchen als ungeeignet erwies eine N-Düngewirkung zu beurteilen, da er auf das erhöhte N-Angebot in der Gesamtschau der Daten nicht reagierte. Dafür war möglicherweise der letztlich moderate Anstieg im N_{\min} des Bodens verantwortlich. Umso positiver ist die enge Beziehung zwischen N-Versorgung und dem Wachstum des Selleries zu werten. Je nach Einschränkung im Datensatz erklärte die N-Düngung ungefähr die Hälfte bis zu fast 90 % der beobachteten Ertragsvariation dieser Kultur über die Jahre und Standorte. In der Praxis sollte nach diesen Ergebnissen die organische N-Düngung zu Porree solange zurückhaltend betrieben werden bis die Ursachen für die mangelhafte Wirkung in diesen Versuchen durch weitergehende Untersuchungen geklärt sind.

Innerhalb einer betrieblichen Fruchtfolge stünde Grünmulchdünger in ausreichender Menge zur Verfügung, um der anfänglich offensichtlich stärker immobilisierenden Wirkung dieses Düngers im Vergleich zur hier gewählten Handelsdüngervariante genügend entgegen zu wirken. Diese Untersuchung belegt einmal mehr wie wichtig bei einer organischen N-Düngung die Berücksichtigung des ebenfalls applizierten Kohlenstoffs ist und wie komplex die Abläufe dadurch werden. Denn obwohl die N_{\min} -Werte auch schon mit normalen N-Düngermengen durch Grünmulch erhöht wurden, schien dessen Verfügbarkeit für die Pflanzen nicht ausreichend zu sein. Umgekehrt führte eine weitere Erhöhung nur noch zu marginalen Änderungen im N_{\min} -Gehalt, schlug sich dann aber im Ertrag des Selleries nieder, immer noch nicht dagegen beim Porree. Dies weist auf einen stetig laufenden Umbauprozess hin, indem N_{\min} eine reine Durchflussgröße darstellt – evtl. standortabhängig-, bei dem die Pflanze in starker Konkurrenz zur Bodenbiologie steht. Vermutlich unterscheiden sich beide Kulturen in dieser Eigenschaft deutlich. Erst hohe N-Mengen im Grünmulch (mind. doppelte N-Menge) sicherten dabei eine ausreichende pflanzliche Verfügbarkeit. Überraschend ist, dass es trotzdem zu einer relativ ähnlichen tatsächlichen Ausnutzung des Grünmulch-N (+25 bis +50 %) durch Sellerie über alle Standorte und Jahre hinweg kam. Die große Differenzierung der scheinbaren N-Ausnutzung (-8 bis +45 %), gerade auch innerhalb eines Versuches, bestätigt dagegen die starke Interaktion der eingesetzten organischen N-Dünger und der so applizierten N-Menge mit dem Boden-N. Die Verteilung des N über die Düngetermine schien dabei insgesamt von marginaler Bedeutung, wenn Mindestmengen überschritten wurden. Offen blieb, ob die Nutzungsgeschichte oder allein die Bodeneigenschaften für die beobachteten Standorteffekte verantwortlich waren, die bei einer ähnlichen Ausnutzung des Dünger-N durch Sellerie, in zwischenzeitlich sehr unterschiedliche Nitratgehalte der beprobten Bodentiefen mündeten (Faktor 2-3 zwischen den Standorten MB und FS).

Nachdem teilweise sehr hohe N-Mengen (bis zu 400 kg N/ha) ausgebracht wurden, erhöht dies potentiell die Verlustgefahr. Tatsächlich dürften die gasförmigen N-Verluste entsprechend der applizierten N-Menge zugenommen haben, während die Daten aber nur eine geringe Zunahme im Nitratrest belegen. Nachdem dieser vor allem in 0-15 cm und auch in 30-60 cm erkennbar war, sollte ein wesentlicher Teil durch eine anschließende geeignet gewählte Winterbegrünung aufgehalten werden können. Systemisch betrachtet ist zusätzlich zu bedenken, dass dieser N innerbetrieblich verlagert wurde und

damit nur insofern neu ist, als durch die Schnittnutzung der Brache eine Förderung der N_2 -Bindung erfolgt sein kann. Deshalb ist zu vermuten, dass insgesamt der N-Überhang durch die Nutzung des Grünmulch als N-Dünger vermindert wird, da die N-Effizienz steigt und damit das betriebliche Verlustpotential zurückgeht.

5 ZUSAMMENFASSUNG

Leguminosenhaltige Brachen werden im Ökologischen Gemüsebaubetrieb bisher kaum als N-Quelle angesehen. In diesem Projekt sollte das innerbetriebliche Potential zur Verbesserung der N-Effizienz des Betriebes, das in der Nutzung dieser Quelle besteht, aufgezeigt werden. Dazu prüften wir nach einem Anlaufjahr in Parzellenversuchen mit Porree und Sellerie an verschiedenen Standorten, inwieweit Weißklee grünmulch sich als Ersatz für einen organischen N-Handelsdünger eignet.

Die Versuche wurden in drei Jahren an den Standorten Viehhausen bei Freising (Oberbayern), Bamberg (Franken) und Miesbach (Oberbayern), als randomisierte Blockanlagen mit drei- bis vier Wiederholungen angelegt. In allen Versuchen gab es eine unge düngte Kontrolle, sowie die Handelsdüngervariante Maltaflor[®] als Referenzverfahren, das eine N-Zufuhr, ermittelt nach dem KNS-Verfahren (Sollwert = Bedarf minus N_{\min} in 0-60 cm), sicherte. Weiter wurde eine Grünmulchdüngung aus Weißklee, deren ausgebrachte N-Menge und Verteilung je nach Versuch variierte, geprüft. Eine ¹⁵N-Markierung des Weißklee ermöglichte direkte Verfolgung Mulch-N und damit dessen tatsächliche Ausnutzung, die mit der aus einer N-Bilanz stammenden N-Ausnutzung verglichen wurde. Der zu düngende Mulch-N wurde auf drei Gaben beginnend mit der Etablierung des Pflanzgutes aufgeteilt, während der Referenzdünger auf zwei gleiche Gaben (Pflanzung, ca. sechs Wochen später) verteilt wurde. Bodenproben aus jeder Parzelle zur Pflanzung, vor jeder Düngung und nach der Ernte aus den Tiefen 0-15, 15-30, sowie z.T. 30-60 und 60-90 cm charakterisierten die Verfügbarkeit an Mineral-N im Boden.

Es zeigte sich, dass die Hauptfrage des Projektes, das Potential Handelsdünger durch einen Leguminosengrünmulch zu ersetzen, nicht mit beiden Kulturen beantwortet werden konnte. Während die Variation in der Ertragsbildung des Selleries zur Hälfte bis fast 90 % mit der organischen N-Düngung erklärt war, bestand hierzu für Porree kein Zusammenhang.

Für Sellerie erwies sich der Grünmulch nur dann als geeigneter N-Dünger, wenn durch die doppelte Menge an N im Vergleich im Referenzverfahren, die sonst zu beobachtende N-Immobilisierung verhindert wurde. War dieses Minimum im N-Angebot überschritten, so hatte die Verteilung des Mulch-N über die Zeit keinen Einfluss auf die N-Ausnutzung durch den Sellerie. Auch im Boden führte eine Erhöhung der N-Dünger-

menge über denn Sollwert hinaus, oder eine variierte Verteilung der N-Menge zu keiner weiteren Erhöhung oder Veränderung des N_{\min} -Angebotes. Mit Versuchsende wurden nach der organischen Düngung Restnitratmengen von unter 50 kg N/ha gefunden, die für Gemüsebau als moderat anzusehen sind und sich zudem wesentlich in 0-15 cm konzentrierten. Statistisch zwar nicht absicherbar, waren zu diesem Zeitpunkt die Werte der Grünmulchdüngung absolut am höchsten. Durch eine geeignete Winterbegrünung ist dieser N-Überhang abschöpfbar. Die tatsächliche Ausnutzung des Mulch-N schwankte mit Sellerie weitaus weniger (25-50 %), als die scheinbare (-8 bis 45 %) und verdeutlicht, dass die Bereitstellung des organisch gebundenen N ganz eng mit dem Umsatz von originärem Boden-N verknüpft war. Es blieb ungeklärt ob die deutlichen Standorteinflüsse auf die scheinbare N-Ausnutzung in Unterschieden der Böden an sich (Textur, Humusgehalt und – qualität) begründet lag und/oder durch die Nutzungsgeschichte mit beeinflusst war.

Die starke, standortabhängige Differenzierung des N_{\min} während der Kultur gaben Anlass zu diskutieren, inwieweit der N_{\min} -Pool in diesem Ansatz vielleicht nicht den pflanzenverfügbaren Boden-N anzeigt, sondern eine fast statistische Durchflussgröße, um die die Pflanzen und Bodenbiologie konkurrieren. Zu den Konsequenzen der Ergebnisse beim Übertrag auf reale Betriebe im Hinblick auf die N-Düngemenge, veränderte N-Verlustsituationen und die Frage der Intensität der Nutzung innerbetrieblichen Stickstoffs werden Überlegungen angestellt.

6 LITERATURVERZEICHNIS

- Arah, J.M.R., 1997. Apportioning nitrous oxide fluxes between nitrification and denitrification using gas-phase mass spectrometry. *Soil Biol. Biochem.* 29, 1295–1299.
- Aulakh, M. S., J. W. Doran, D. T. Walters und J. F. Power (1991b): Legume residue and soil water effects on denitrification in soils of different textures. *Soil Biology & Biochemistry* 23 (12): 1161–1167.
- Becker, K. und G. Leithold (2003). Weitreihenbau bei Weizen: Strategie zur Optimierung von Backqualitäten und Fruchtfolge im Ökologischen Landbau. In: B. Freyer (Hrsg.) Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Wien 2003, 77–80.
- De Klein, C., McConkey, B.G., Mosier, A., Novoa, R.S.A., Ogle, S., Smith, K.A., Rochette, P., Rypdal, K. und Wirth, T.C., 2006: N₂O emissions from managed soils, and CO₂ emissions from lime and urea application. In: Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor und H.L. Miller (eds.). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- DWD (2008): Deutscher Wetterdienst (DWD), Wetterstation Weißenstephan. Witterungsbericht 1961–1990.
- Engelmann, P., Scheu-Helgert, M., Schubert, W., Rascher, B. und v. Mansberg, A. (2007): Stickstoffdynamik im ökologischen Gemüsebau im Freiland mit organischen Düngern unter besonderer Berücksichtigung von Flachabdeckungen zur Verfrühung und Verlängerung der Anbausaison. Abschlussbericht für das Bundesprogramm Ökologischer Landbau, Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG) (Hrsg.), Veitshöchheim. <http://orgprints.org/15641/>.
- Fink, M. (2000). Nitrogen contribution of green pea to a succeeding spinach crop. *Gartenbauwissenschaft*, 65 (2), 79–82.
- Fox, R.H., R.J.K. Myers und I. Vallis (1990). The nitrogen mineralization rate of legume residues in soil as influenced by their polyphenol, lignin and nitrogen content. *Plant and Soil* 129, 251–259.
- Gutser, R., Ebertseder, T., Weber, A., Schraml, M. und Schmidhalter, U. (2005): Short-term and residual availability of nitrogen after long term application of organic fertilizers on arable land. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 168, 439–446.
- Harrison, R., S. Ellis, R. Cross und J. H. Hodgson (2002) : Emissions of nitrous oxide and nitric oxide associated with the decomposition of arable crop residues on a sandy loam soil in Eastern England. *Agronomie* 22: 731–738.
- Helmert, M. H. Heuwigel, G. Pommer, R. Gutser und U. Schmidhalter (2003). N-Flüsse in gemulchtem und geschnittenem Klee gras: Warum Klee gras-Brache im Ökologischen Landbau (OL) die Erträge der Folgefrucht nicht erhöht. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 102, 347 – 348. <http://www.wzw.tum.de/pe/publikationen/pdf/sd643.pdf>.
- Heuwigel, H. (2001). N₂-Bindung in gemulchtem Klee gras: Messmethodik und Fixierleistung. In: H. J. Reents (Hrsg) Beiträge zur 6. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Weißenstephan 2001, 183–186.
- Heuwigel, H., F. Locher, R. Gutser und U. Schmidhalter (2002). Variabilität der symbiotischen N₂-Fixierung: Methoden zur Abschätzung und Ursachen der Variation. In: P. Schröder, B. Huber & J.C. Munch (Hrsg.) FAM-Statusseminar 27.-29.11.2002, GSF Neuherberg, FAM-Bericht 55, 69–73.
- Heuwigel, H., Gutser, R. und Schmidhalter, U. (2005): Does N-cycling impair the N₂-fixing activity of mulched legume-grass in field? In: B.E. Frankow-Lindberg, R.P. Collins, A. Lüscher, T. Sébastia & Á. Helgadóttir (Hrsg.). Adaptation and management of forage legumes- strategies for improved reliability in mixed swards. Proceedings of the 1st COST 852 workshop, Ystad, Schweden 20-23.09.2004. 141–144.

- Heuwinkel, H., Gutser, R. und Schmidhalter, U. (2005): Auswirkung einer Mulch- statt Schnittnutzung von Klee gras auf die N-Flüsse in einer Fruchtfolge. In: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (Hrsg.): Forschung für den ökologischen Landbau. Ökolandbautag am 16.02.2005 in Weißenstephan. http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/schriftenreihe_url_1_27.pdf, 71-79.
- Janzen, H.H. und S.M. McGinn (1991). Volatile loss of nitrogen during decomposition of legume green manure. *Soil Biology and Biochemistry* 23 (3), 291-297.
- Kaiser, M. (2002). Einfluss der Nutzungsweise von Klee gras auf den N_{min} -Gehalt im Boden. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Pflanzenernährung, TU München.
- Kuzyakov, Y., Friedel, J.K., Stahr, K. (2000): Review of mechanisms and quantification of priming effects. *Soil Biology & Biochemistry*, 32, 1485-1498.
- Laber, H. (2002a). Kalkulation der N-Düngung im ökologischen Gemüsebau. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft 7 (6), S. 1-77.
- Laber, H. (2002b). Wickroggen lieferte deutlich weniger N als erwartet; 30 bzw. 70 %ige N-Freisetzung aus Stallmist und Rizinus in 7 Wochen. In: Verband der Landwirtschaftskammern [Hrsg.], Vers. Dt. Gartenbau, S. 2.
- Larsson, L., M. Ferm, A. Kasimir-Klemetsson und L. Klemetsson (1998). Ammonia and nitrous oxide emissions from grass and alfalfa mulches. *Nutrient cycling in agroecosystems* 51 (1): 41-46.
- LfL (2007): Agrarmeteorologisches Messnetz Bayern, Wetterdatenabruf, Wetterstation Nr.110 (Viehhäusen) Jahreswitterungsberichte 2005-2007, <http://www.lfl.bayern.de/agm/daten.php?statnr=110>.
- Lindner, U. (2002). Klee gras für intensiven ökologischen Gemüsebau als Düngung nicht ausreichend. In: Verband der Landwirtschaftskammern [Hrsg.], Vers. Dt. Gartenbau.
- Loges, R., A. Kaske und F. Taube (1999). Dinitrogen fixation and residue nitrogen of different managed legumes and nitrogen uptake of subsequent winter wheat. In: Olesen, J. E. et al. (EDS) 1999: Designing and testing crop rotation for organic farming. Danish Research Centre for Organic Farming. DARCOF Report 1/1999.
- Lorenz, H.-P., Schlaghecken, J. und Engl, G. (1986): Gezielte Stickstoff-Versorgung im Gemüsebau nach dem kulturbegleitenden N_{min} -Sollwerte (KNS)-System. Verein Ehemaliger Gartenbauschüler, Neustadt, Weinstraße.
- Magid, J., O. Henriksen, K. Thorup-Christensen und T. Mueller (2001). Disproportionately high N-mineralisation rates from green manures at low temperatures – implications for modeling and management in cool temperate agro-ecosystems. *Plant and Soil* 228, 73-82.
- Meyer J., F. Buegger, E.S. Jensen, M. Schlöter und J. Heß (2003). Residual nitrogen contribution from grain legumes to succeeding wheat and rape and related microbial processes. *Plant and Soil*, 255, 541-554.
- Mulvaney, R. L. (1996): Nitrogen - Inorganic Forms. In: Bingham, J. M. : Methods of soil analysis. Teil 3, Soil Science Society of America, 1123-1184.
- Pommer, G. (2003). Auswirkungen von Saatstärke, weite Reihe und Sortenwahl auf Ertrag und Backqualität von Winterweizen. In: B. Freyer (Hrsg.) Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Wien 2003, 69-72.
- Reinsch, G. (2004). Führt das Mulchen von Klee gras schon im wachsenden Bestand zu erhöhten N-Verlusten in Form von NH_3 , NO_x und N_2O ? Diplomarbeit am Lehrstuhl für Pflanzenernährung, TU München.
- Ruhe, I., R. Loges und F. Taube (2003). Stickstoffflüsse in verschiedenen Fruchtfolgen des ökologischen Landbaus – Ergebnisse aus dem CONBALE-Projekt Lindhof, in B. Freyer (Hrsg.). Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau. Universität für Bodenkultur Wien, 97-100.
- Scharpf, H.C. und R. Schrage (1988). Größenordnung und Einflussfaktoren der Freisetzung von Stickstoff aus Ernterückständen im Gemüsebau. Kongressband 1988, VDLUFA-Schriftenreihe 28, Teil 2, 81-95.

- Smit, A.L., Booij, R. & van der Werf, A. (1996): The spatial and temporal rooting pattern of Brussels sprouts and leeks. *Netherlands journal of Agricultural science*, 44, 57- 72.
- Smith, S. J. und A. N. Sharpley (1990): Soil Nitrogen Mineralization in the Presence of Surface and Incorporated Crop Residues. *Agronomy Journal* 82: 112-116.
- Stadler, C., Tucher v., S., Schmidhalter, U., Gutser, R. und Heuwinkel, H. (2006): Nitrogen release from plant-derived and industrially processed organic fertilizers used in organic horticulture. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 169, 549-556.
- Thönnissen, C. (1996). Nitrogen fertilizer substitution for tomato by legume green manures in tropical vegetable production systems. Dissertation No. 11696, ETH Zürich, 114 S.
- Thönnissen, C.; Midmore, D.J.; Ladha, J.K.; Holmer, R.J. und Schmidhalter, U. (2000a). Tomato crop response to short-duration legume green manures in tropical vegetable systems. *Agronomy Journal* 92, No.2, 245-253.
- Thönnissen, C.; Midmore, D.J.; Ladha, J.K.; Olk, D.C. und Schmidhalter, U. (2000b). Legume decomposition and nitrogen release when applied as green manures to tropical vegetable production systems. *Agronomy Journal* 92, No.2, 253-260.
- Vilsmeier, K. (1984): Bestimmung von Dicyandiamid, Nitrit und Nitrat in Bodenextrakten mit Hochdruckflüssigkeitschromatographie. *Z. Pflanzenernährung Bodenkunde*, 151, 459-473.
- Vilsmeier, K. und Gutser, R. (1988): Modellversuche zur N-Mineralisation aus Zuckerrübenblättern. *Landw. Forschung* 41, H. 3 - 4, 210-216
- Weber, A., R. Gutser, U. Schmidhalter und G. Henkelmann (2001). Unvermeidbare NH_3 -Emissionen aus mineralischer Düngung (Harnstoff) und Pflanzenmulch unter Verwendung einer modifizierten Messtechnik. *VDLUFA-Schriftenreihe* 55, Kongressband 2000, 175-182.
- Wendland, M., Diepolder, M. und Capriel, P. (2007): Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland. *LfL Information*, 8. Auflage. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.), Freising.

7 ANHANG

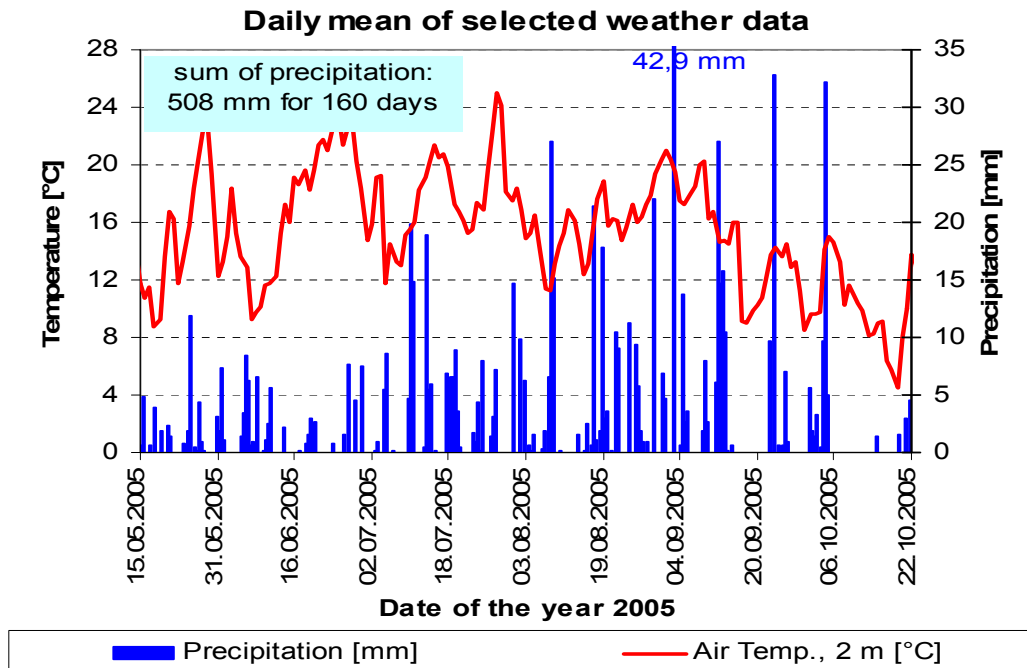


Abb. 7-1: Witterungsverlauf am Standort Viehhausen im Versuchsjahr 2005. Mittelwert der Lufttemperatur und Tagessumme des Niederschlages der LfL-Messstation in Viehhausen (LfL, 2007b).

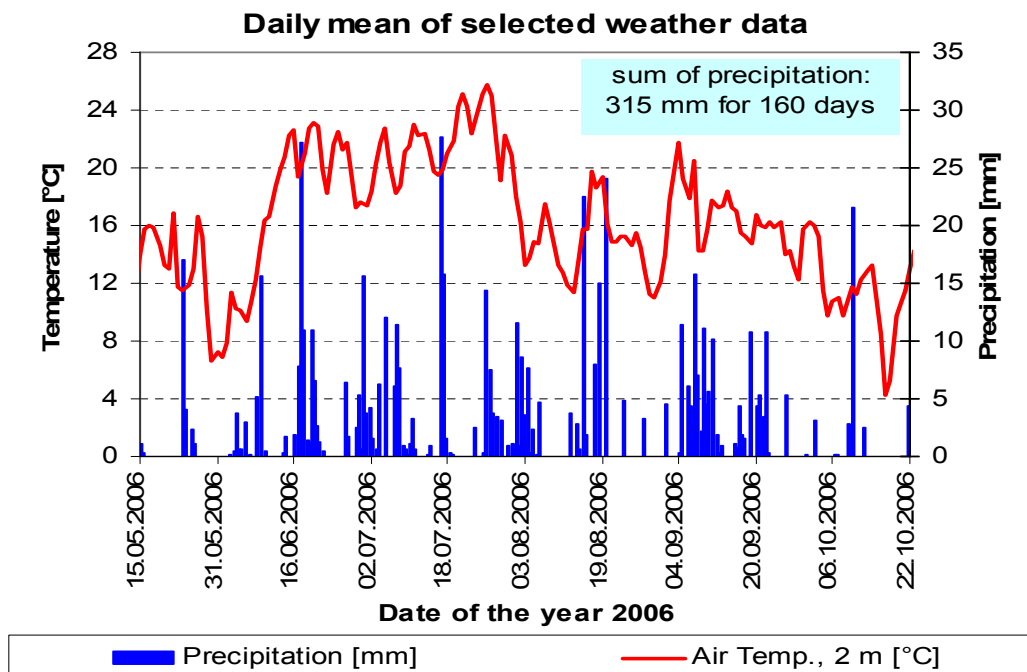


Abb. 7-2: Witterungsverlauf am Standort Viehhausen im Versuchsjahr 2006. Mittelwert der Lufttemperatur und Tagessumme des Niederschlages der LfL-Messstation in Viehhausen (LfL, 2007b).

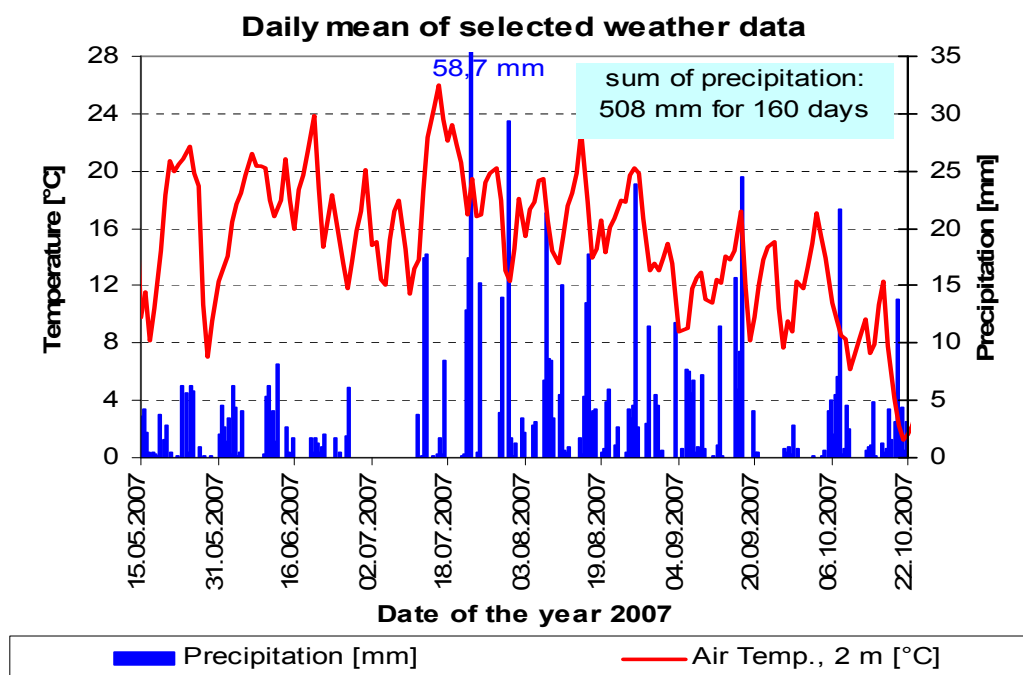


Abb. 7-3: Witterungsverlauf am Standort Viehhausen im Versuchsjahr 2007. Mittelwert der Lufttemperatur und Tagessumme des Niederschlages der LfL-Messstation in Viehhausen (LfL, 2007b).

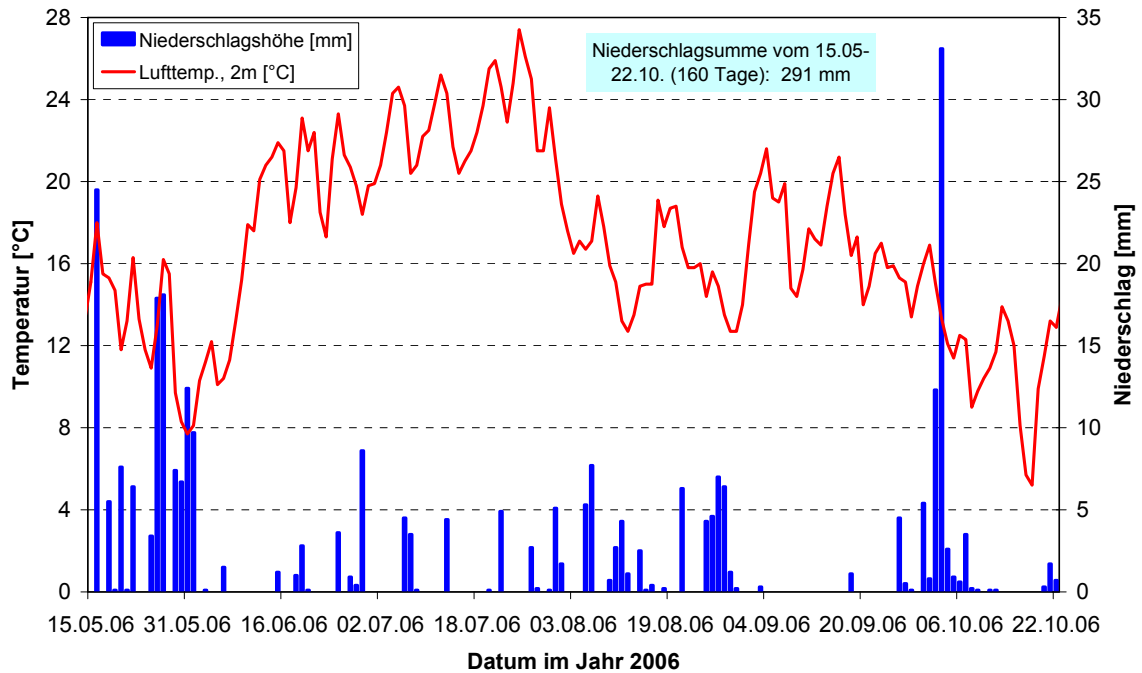


Abb. 7-4: Witterungsverlauf am Standort Bamberg im Versuchsjahr 2006. Mittelwert der Lufttemperatur und Tagessumme des Niederschlages (Deutscher Wetterdienst, Wetterstation in Bamberg).

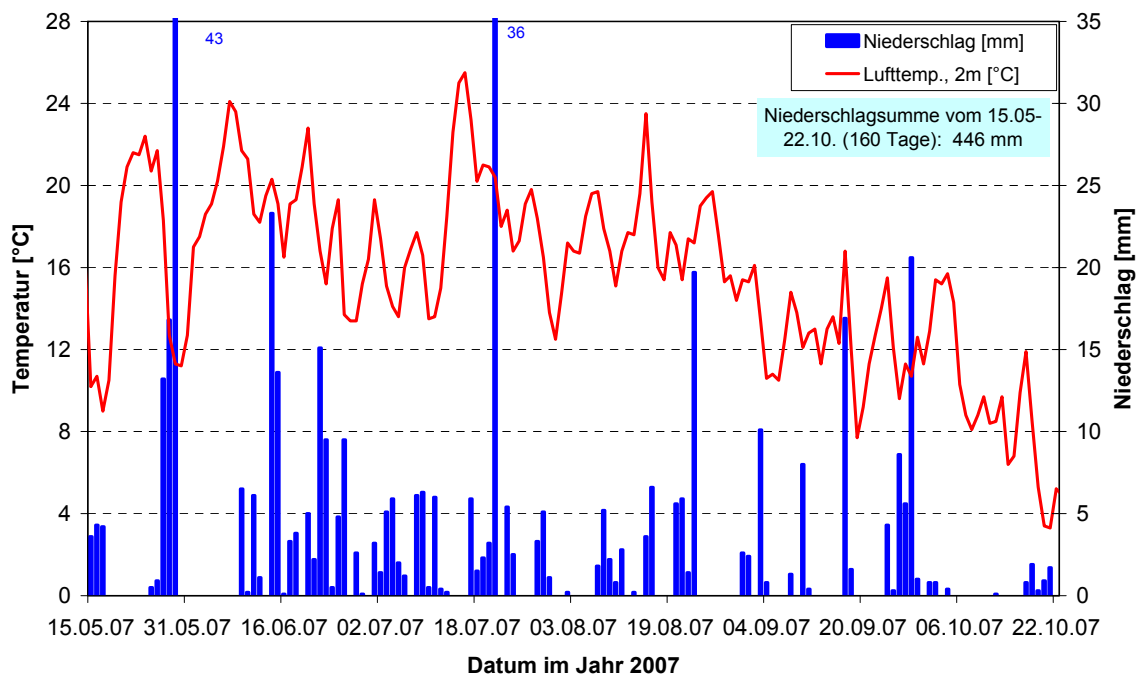


Abb. 7-5: Witterungsverlauf am Standort Bamberg im Versuchsjahr 2007. Mittelwert der Lufttemperatur und Tagessumme des Niederschlages (Deutscher Wetterdienst, Wetterstation in Bamberg).



ANHANG

FKZ 03OE102

Im Bundesprogramm Ökologischer Landbau

Thema:

Synchronisation der N-Mineralisierung aus Mulch mit der
N-Aufnahme von Freilandgemüse durch optimiertes
Management einer Leguminosengründung

Laufzeit: 18.06.2004 bis 31.12.2007

Projektnehmer:

Technische Universität München
Wissenschaftszentrum Weihenstephan
Lehrstuhl für Pflanzenernährung
Dr. Hauke Heuwinkel

berichtsverantwortlich:

Hauke Heuwinkel

Projektpartner:

Frau M. Scheu-Helgert, Frau P. Engelmann, Herr W. Schubert, Frau B. Rascher, Gemüsebauversuchsbetrieb Bamberg, Bayerische Landesanstalt für Wein- und Gartenbau (LWG)

Herr S. Kimmelman, Versuchsstation für Ökologischen Landbau, TU München, Viehhausen, Kranzberg

Herr J. Pöhm, Biogut Wallenburg, Gemüsebaubetrieb, Miesbach

Prof. Dr. T. Ebertseder, Fachhochschule Weihenstephan, Fakultät Land- und Ernährungswirtschaft, Studiengang: Landwirtschaft

1 ÜBERSICHT ÜBER AKTIVITÄTEN ZUR VERBREITUNG DER ERGEBNISSE SOWIE AUS DEM PROJEKT HERAUS REALISIERTE ABSCHLUSSAR- BEITEN UND VERÖFFENTLICHUNGEN

- Heuwinkel, H. (2005+2007): Feldführung beim Ökolandbautag der LfL in Viehhausen.
- Heuwinkel, H. (2004-2007): Feldführung und z.T. Vortrag beim 3.-6. Öko-Gemüsebautag der LWG in Bamberg.
- Eicheldinger, Sara (2005): N₂O- und CO₂-Emissionen nach einer Weißklee-Gründung in Abhängigkeit von der Bearbeitung, der Kleemenge und dem Boden.
- Heuwinkel, H. (2006): Stickstoffmanagement im ökologischen Ackerbau – Wirkungsanalyse zu Potentialen und Grenzen. Vortrag auf der Naturland-Fachtagung ‚Ökologischer Ackerbau‘, Erdweg, Januar 2006.
- Heuwinkel, H. (2007): Leguminosengrünmulch, ein alternativer N-Dünger im ökologischen Feldgemüsebau? Vortrag auf der Wissenstransfer-Veranstaltung 888 "Neue Wege bei der Düngung im ökologischen Gemüsebau" am 18.9.2007 auf der Versuchsstation der TUM in Viehhausen bei Freising.
- Heuwinkel, H. (2007): Einfluss von Mulchmaterial auf den N-Haushalt oder: Steuerung der N-Flüsse durch das Klee grasmanagement. Vortrag vor Praktikern im Rahmen der Bioland-Winterschulen, Schweinfurt, Dez. 2007.
- Heuwinkel, H. (2007): N-Düngung im Ökologischen Gartenbau. 2stündige Gastvorlesung an der FH-Weihenstephan im WS 2007/2008.
- Heuwinkel, H. (2008): Ist der betriebsinterne N-Kreislauf durch Düngung mit Leguminosen-Grünschnitt optimierbar? Vortrag auf der Bioland-Wintertagung in Hamm, Januar 2008.
- Heuwinkel, H. (2008): Einfluss des Leguminosenmanagements auf klimarelevante gasförmige Stickstoffverluste. Vortrag beim KTBL-Fachgespräch „Klimawandel und Ökolandbau“, 1.-2. Dezember 2008 in Göttingen.
- Kreppold, Johannes (2009): N-Umsatz im Boden nach Applikation verschiedener N-Dünger im Ökologischen Freilandgemüseanbau. Diplomarbeit im Studiengang Landwirtschaft der FH-Weihenstephan, Prof. Dr. T. Ebertseder.
- Johannes Kreppold, Thomas Ebertseder, Urs Schmidhalter und Hauke Heuwinkel (2009). N-Umsatz im Boden nach Applikation zweier organischer N-Dünger im Ökologischen Freilandgemüseanbau. Vortrag auf der Jahrestagung des VDLUFA in Karlsruhe, September 2009.

2 GEGENÜBERSTELLUNG DER URSPRÜNGLICH GEPLANTEN ZU DEN TATSÄCHLICH ERREICHTEN ZIELEN; HINWEISE AUF WEITERFÜHRENDE FRAGESTELLUNGEN

Ursprünglich war ein systemorientierter Versuchsansatz in Form der Simulation eines Betriebes mit einer Fruchtfolge geplant, innerhalb der es zu einer verbesserten Nutzung des Grünmulchaufwuchses kommt. Die Zahlen sollten im direkten Vergleich zur üblichen Nutzung des Mulchens auf der Brachefläche die Verbesserung der N-Ausnutzungseffizienz durch den Einsatz als Grünmulchdünger zu Gemüse aufzeigen.

Wie zu Beginn dieses Abschlussberichtes schon ausführlich dargestellt, wurde gleich im ersten Projektjahr klar, dass dieses Ziel, aufgrund ungünstiger standörtlicher Voraussetzungen und der sehr hohen Variabilität im Wachstum aller Kulturen der Fruchtfolge, unrealistisch war.

Das neue, besser an die Anforderungen angepasste Versuchskonzept, ermöglichte leider keine systemische Betrachtung mehr. Dafür konnten neue, ebenfalls sehr wichtige Fragen aufgenommen werden, als da wären (1) die Bedeutung der mit Grünmulch zugeführten N-Menge, (2) dessen Verteilung über die Düngegaben und (3) die Bedeutung des Standortes in der Ertragswirksamkeit des Grünmulches. Systemare Betrachtungen wurden unter Berücksichtigung der hier gewonnenen Daten und von Daten aus anderen Projekten theoretisch vorgenommen.

Der intensive Austausch mit den Projektpartnern trug zu einer ständigen Weiterentwicklung des Projektes bei, weshalb bis zum letzten Tag ständig neue Informationen dazu kamen. Durch die Vorstellung auf den Feldtagen entstand ein guter Kontakt zur Praxis, bis hin zu der Bitte seitens mehrerer Praktiker diese Arbeit in einem neuen Konzept auf ihren Betrieben weiterzuführen. Hintergrund des Interesses war sowohl die bessere Nutzung von für Gemüsebau ungeeigneten Flächen, als auch die Intensivierung des innerbetrieblichen N-Kreislaufes. Vor diesem Hintergrund wurde noch im letzten Versuchsjahr eine darauf ausgerichtete Projektskizze beim BÖL eingereicht. Unter der intensiven Arbeit an den aktuellen Fragen und wegen der Änderung im Arbeitsfeld des Autors, litt allerdings bis heute die tiefgreifende wissenschaftliche Auswertung der Daten.

Trotzdem können auch so einige Schlüsselfragen formuliert werden, deren Beantwortung zentraler Bestandteil einer Fortsetzung dieses Projektes sein sollten:

1. Die Bedeutung des Standortes und/oder Bodens in der Umsetzung unterschiedlicher organischen N-Dünger, in dieser Untersuchung vor allem durch N_{\min} reflektiert.
2. Die Ursachen der tlw. deutlich unterschiedlichen tatsächlichen (FUE) und scheinbaren (aFUE) Ausnutzung des Dünger-N.
3. Die große Diskrepanz zwischen N-Düngermenge und der Änderung im N_{\min} -Gehalt des Bodens.
4. Der Vergleich der betrieblichen N-Effizienz mit und ohne Nutzung des Grünmulches als N-Dünger.
5. Weitere Vorteile des Grünmulches, die sich insbesondere 2007 bei Starkregen gefolgt von intensiver Sonneneinstrahlung zeigten: Verbesserung der Krümelstruktur und verminderte Verschlammungsneigung des Bodens, sowie Unkrautunterdrückung und Verdunstungsschutz.

Durch die Beantwortung dieser Fragen wird nicht nur das vorgeschlagene Konzept zur Düngung mit Grünmulch unterstützt, sondern Schlüsselfragen in der Optimierung von organischer Düngung werden so geklärt. In der Beantwortung dieser Fragen wird ein Stück weit der weitere Erfolg des Ökologischen Land- und Gartenbau bestimmt. Es geht aber letztlich weit über den hinaus, wenn in der Zukunft der gezielte, umweltschonende Einsatz organischer Dünger generell wieder eine größere Bedeutung in der Landnutzung bekommt.